

(19) Japan Patent Office (JP)

(11) Japanese Unexamined Patent
Application Publication Number(12) Japanese Unexamined Patent
Application Publication (A)**7-176468**

(43) Publication date: July 14, 1995

(51) Int. Cl. ⁶	Identification Symbol	Office Reference Number	FI	Technical indication location
H01L 21/027 G03B 27/32 G03F 7/20	521	F	H01L 21/30	525 C 520 A

7352-4M
7352-4MRequest for examination: Not yet requested No. of claims: 6 OL (Total of 26 pages)
Continued to last page

(21) Application No.	Patent application no. 5-334759	(71) Applicant	000004112 Nikon Corp. 3-2-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo
(22) Date of Application	December 28, 1993	(72) Inventor	Kenji NISHI, c/o Nikon Corp. 3-2-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo
(31) Priority Number	No.5-38077	(74) Agent	Satoshi OMORI, patent attorney
(32) Priority Date:	February 26, 1993		
(33) Priority country:	Japan		

54) Title of the invention: PROJECTION EXPOSURE METHOD**(57) Abstract**

Purpose: When exposing using a slit-scanning type, the effect of a writing error of a reticle is reduced, and thus a reticle coordinate system and wafer coordinate system can correspond accurately.

Configuration: On a reticle projection image 12W, alignment mark images 29AW to 29DW and 30AW to 30DW are projected in two rows in the scanning direction, and reference marks 35A to 35D and 36A to 36D are formed in two rows in the scanning direction on a reference mark plate 6 of a wafer stage side. The reticle and the reference mark plate 6 move in the scanning direction, and errors between the mark images 29AW, 30AW, and the reference marks 35A, 36A are obtained by a reticle alignment microscope. Since errors of other mark images and reference marks are obtained in the same manner, the measurement error of a coordinate system is corrected by the error, and thus a transformation parameter of the reticle coordinate system and wafer coordinate system is obtained.

Scope of Patent Claims

Claim 1

An exposure method for exposing, on a substrate, pattern images larger than an illumination area of a predetermined shape on a mask by means of illuminating an illumination area of a predetermined shape using illumination light, and exposing pattern images on said mask within said illumination area of the predetermined shape through a projection optical system to said substrate on a stage to scan a mask and a substrate synchronously relative to said illumination area of the predetermined shape in a relative scanning direction, wherein said method comprises:

- forming a plurality of measuring marks on said mask along said relative scanning direction;

- disposing reference mark members with a plurality of reference marks formed on said stage at an almost conjugated position to the plurality of measuring marks;

- measuring successively a displacement amount between one measuring mark within a plurality of measuring marks on said mask and said reference marks corresponding to said stage while moving said mask and said substrate synchronously in said relative scanning direction; and

- obtaining a corresponding relationship between a coordinate system on said mask and a coordinate system on said stage according to the displacement amount between the plurality of measuring marks and the plurality of reference marks, respectively.

Claim 2

A projection exposure method for exposing, on a substrate, pattern images larger than an illumination area of a predetermined shape on a mask by means of illuminating an illumination area of a predetermined shape using illumination light, and exposing pattern images on said mask within said illumination area of the predetermined shape through a projection optical system to said substrate on a stage to scan a mask and a substrate synchronously relative to said illumination area of the predetermined shape in a relative scanning direction, wherein said method comprises:

- disposing an alignment system of an off-axis type provided on said substrate in a periphery of the projection optical system to detect a position of the alignment mark which determines the position on said substrate;

- forming a plurality of measuring marks on said mask along said relative scanning direction;

- disposing, on the stage, a reference mark member in which a first and a second reference marks are formed at a distance corresponding to a distance between a reference point within the exposing field of the projection optical system and a reference point of the alignment system of the off-axis type;

in the state of observing said second reference mark on said reference member with the alignment system of the off-axis type, moving said mask in a relative scanning direction to successively measure a displacement amount between one measuring mark within a plurality of measuring marks on said mask and said the first reference mark on said stage; and

obtaining a distance between a reference point within an exposing field of said projection optical system and a reference point of the alignment system of the off-axis type by an average value of a displacement amount between the plurality of measuring marks and said first mark, and a displacement amount between said measuring marks and said second reference mark observed with alignment system of off-axis type.

Claim 3

_____The projection exposure method according to claim 2, comprising forming a plurality of said first reference marks corresponding to a plurality of measuring marks on said mask on said reference mark member;

forming a plurality of the second reference marks at a distance corresponding to a distance between a reference point within the exposing field of the projection optical system and a reference point of the alignment system of the off-axis type from the plurality of first reference mark;

measuring successively a displacement amount between one measuring mark within a plurality of measuring marks on said mask and said first reference marks corresponding to said stage while moving said mask and said stage synchronously in said relative scanning direction; and observing a reference mark corresponding within the plurality of second reference marks with alignment system of off-axis type; and

obtaining a distance between a reference point within an exposing field of said projection optical system and a reference point of the alignment system of the off-axis type by an average value of a displacement amount between the plurality of measuring marks and the plurality of first reference mark and an average value of a displacement between the plurality of measuring marks and the plurality of second reference marks observed with alignment system of off-axis type.

Claim 4

A projection exposure method for exposing, on a substrate, pattern images larger than an illumination area of a predetermined shape on a mask, by means of illuminating an illumination area of a predetermined shape using illumination light to scan a mask and a substrate synchronously relative to said illumination area of the predetermined shape in a relative scanning direction, and exposing pattern images on

said mask within said illumination area of the predetermined shape through a projection optical system to said substrate on a stage, wherein said method comprises,

a first step for forming a plurality of measuring marks on said mask along said relative scanning direction and disposing reference mark members with the plurality of reference marks formed on said stage at a almost conjugated position to the plurality of measuring marks; measuring successively a displacement amount between one measuring mark within a plurality of measuring marks on said mask and said reference marks corresponding to said stage while moving said mask and said substrate synchronously in said relative scanning direction, and obtaining the displacement amount between said measuring marks and said reference marks, respectively;

a second step for measuring once a displacement between a predetermined measuring mark within a plurality of measuring mark on said mask and a reference mark corresponding to said stage, and obtaining a displacement amount between said measuring mark and said reference mark; and

a third step of selecting any of said first step and said second step, obtaining coordinate relationship of coordinate system on said mask based on a displacement amount between said measuring mark obtained in the selected step and said reference mark and coordinate system on said stage.

Claim 5

A projection exposure method for exposing, on a substrate, pattern images larger than an illumination area of a predetermined shape on a mask by means of illuminating an illumination area of a predetermined shape using illumination light, and exposing pattern images on said mask within said illumination area of the predetermined shape through a projection optical system to said substrate on a stage to scan a mask and a substrate synchronously relative to said illumination area of the predetermined shape in a relative scanning direction, wherein said method comprises:

a first step disposing an alignment system of an off-axis type provided on said substrate in a periphery of the projection optical system to detect a position of the alignment mark which determines the position on said substrate; forming a plurality of measuring marks on said mask along said relative scanning direction; disposing reference mark members with the plurality of reference marks formed on said stage at a almost conjugated position to the plurality of measuring marks; in which the plurality of reference marks are composed of the first and the second marks disposed at a distance corresponding to a distance between a reference point of the projection optical system and a reference point of the alignment system of the off-axis type; in the state of observing said second reference mark on said reference member with the alignment system of the off-axis type, moving said mask in a relative scanning

direction to successively measure a displacement amount between one measuring mark within a plurality of measuring mark on said mask and said the first reference mark;

a second step, in the state of observing said second reference mark on said reference mark member with the alignment system of the off-axis type, successively measuring a displacement amount between one predetermined measuring mark within a plurality of measuring mark on said mask and said first reference mark;

a third step selecting any of said first step and said second step

a fourth step obtaining a corresponding relationship between a coordinate system on said mask and a coordinate system on said stage by the displacement amount between said measuring marks and said reference marks, respectively, and the displacement amount between said measuring marks and said second reference mark observed with alignment system of said off-axis type, which is measurement results in a step selected in the third step, and obtaining a distance between a reference point within an exposing field of said projection optical system and a reference point of the alignment system of the off-axis type.

Claim 6

A projection exposure method for exposing, on a substrate, pattern images larger than an illumination area of a predetermined shape on a mask by means of illuminating an illumination area of a predetermined shape using illumination light, and exposing pattern images on said mask within said illumination area of the predetermined shape through a projection optical system to said substrate on a stage to scan a mask and a substrate synchronously relative to said illumination area of the predetermined shape in a relative scanning direction, wherein said method comprises:

disposing an alignment system of an off-axis type provided at said substrate in a periphery of the projection optical system to detect a position of the alignment mark which determines the position on said substrate;

forming a plurality of measuring marks on said mask along said relative scanning direction;

disposing reference mark members with the plurality of reference marks formed on said stage at a almost conjugated position to the plurality of measuring marks;

wherein the plurality of reference marks are composed of the first and the second mark formed at a distance corresponding to a distance between a reference point of the projection optical system and a reference point of the alignment system of the off-axis type;

each time when exchanging a predetermined number of sheets of said substrate,

in the state of observing said second reference mark on said reference member with the alignment system of the off-axis type, measuring a displacement amount between one predetermined measuring mark within a plurality of measuring mark on said mask and said corresponding first reference mark; obtaining coordinate relationship of coordinate system on said mask and coordinate system on said stage, and obtaining a distance between a reference point within an exposing field of said projection optical system and a reference point of the alignment system of the off-axis type, by said measured displacement amount, and a displacement amount between one measuring mark and said second reference mark observed with alignment system of off-axis type.

Detailed Description of the Invention

[0001]

Industrial Field of Utilization

This invention relates to an exposure method which can be advantageously applied to a projection exposure apparatus of, for example, a slit scanning exposure type.

[0002]

Prior Art

Projection type exposure apparatus has been used in manufacturing semiconductor devices, liquid crystal displays and thin-film magnetic heads through a photolithography process, in which patterns of a photomask or a reticle (hereinafter, referred to as "reticle") are transferred to the surface of a substrate (wafer, glass plate, etc.) coated with a photosensitive coating. The conventional projection type exposure apparatus commonly used is a reduction projection type exposure apparatus (stepper) that moves individual shots on the wafer successively to an exposing field of a projection optical system to expose pattern images of the reticle on the shots using a photographic step-and-repeat process.

[0003]

FIG. 18 represents a main portion of the conventional stepper. In FIG. 18, a wafer 5 is mounted on a wafer stage 4, and a reference mark plate 57 is fixed on the wafer stage 4 in a periphery of the wafer 5. A pattern image on reticle 12 based on an exposure light from an illumination optical system (not shown) is projected and exposed to each shot region on wafer 5 through projection optical system 8. In this case, the wafer stage 4 is driven along a wafer coordinate system, and thus it is necessary to measure position on wafer coordinate system on reticle 12, and a rotation angle with reference to wafer coordinate system of reticle 12. Accordingly, two alignment marks (reticle mark) 60R and 61R are formed to oppose a periphery of pattern area of reticle 12. On reference mark plate 57, two reference marks 60F and

61F are formed at the same distance as a designed distance on wafer 5 of reticle marks 60R and 61R.

[0004]

On reticle marks 60R and 61R of the reticle 12, reticle alignment microscopes 58 and 59 are disposed. The reticle alignment microscopes 58 and 59 include an illumination light source which emits alignment light of the same wavelength as exposure light, and the reticle mark on reticle 12 and a sensor which can simultaneously observe alignment mark (wafer mark) on wafer 5 or the reference mark on reference mark plate 57. When performing exposure to wafer 5 of FIG. 18, by moving successively only wafer stage 4 through a step-and-repeat process, pattern image on reticle 12 is exposed to each shot region of wafer 5.

[0005]

In such a stepper, when the pattern image of reticle 12 is exposed on circuit pattern on wafer 5 formed in previous process, it is necessary that (that is align) a wafer coordinate system, which defines coordinates of each shot region of wafer 5, and a reticle coordinate system, which defines coordinates of pattern on reticle 12, correspond. In case of stepper, exposure field of projection optical field 8 is the same size as one shot region on wafer 5. Since it is not necessary to drive reticle 12 during exposure, wafer coordinate system and reticle coordinate system are made to correspond as shown below.

[0006]

That is to say, wafer stage 4 is driven to move reference mark 57 to within an exposure field of projection optical system 8. Then, displacement amount between reticle mark 60R and reference mark 60F is detected by reticle alignment microscope 58, a displacement amount between reticle mark 61R and reference mark 61F is detected by the other reticle alignment microscope 59 to position pattern of reticle 12 on wafer coordinate system by using the displacement amount. Further, reference mark 60F is moved to position of reference mark 61F to detect a displacement amount between reticle mark 61R and reference mark 60F by reticle alignment microscope 59. Thereby, a rotation angle of reticle 12 is measured on wafer coordinate system. Reticle 12 or wafer stage 4 are rotated to correct the rotation angle. Accordingly, finally, wafer coordinate system and reticle coordinate are made to correspond.

[0007]

In FIG. 18, some steppers comprise an alignment microscope 34 of an off-axis type provided at one side surface of the projection optical system 8 to detect a position of the alignment mark (wafer mark) formed as a correspondence to each shot on the wafer 5. In such a case, the shot on the wafer 5 is determined within the exposing field of the projection optical system 8 according to the position of the associated wafer mark detected on the alignment microscope 34. Accordingly, so-called base

line amount should be obtained previously that represents a distance between a reference point (such as an exposure center) within the exposing field of the projection optical system 8 and a reference point 62 of the alignment microscope 34 of the off-axis type.

[0008]

In the conventional stepper, when base line amount is measured, a displacement amount between reticle marks 60R and 61R and a conjugated image of refer marks 60F and 61F is measured, and then for example, wafer stage 4 is moved as many as a design value of the base line amount, a displacement amount between the reference point 62 by alignment microscope 34 and reference mark corresponding on reference mark plate 57 was measured. A base line amount is obtained from the displacement amount.

[0009]

Problems to Be Solved by the Invention

In recent years, fine patterns for the semiconductor devices require resolution of the projection optical system to be improved. To improve the resolution, exposure light may be shifted to a shorter wavelength or alternatively, the number of openings of the projection optical system may be increased. In any event, it has been difficult to maintain an image quality (such as distortion and image plate deformation) on the entire exposing field with a predetermined accuracy when it is intended to ensure as same exposing field as conventional arts. With this respect, the projection type exposure apparatuses based on so-called slit scanning exposure type have taken a favorable turn.

[0010]

In the projection type exposure apparatus of the slit scanning exposure type, the reticle and the wafer are scanned relative to and synchronous with a rectangular or arc-shaped illumination field (hereinafter, referred to as a "slit-shaped illumination field") to expose the patterns of the reticle on the wafer. The slit scanning exposure type thus makes it possible to reduce the exposing field of the projection optical system as compared with the stepper type, provided that the reproduced patterns are equal in area to those reproduced using the stepper type. This may improve the accuracy of the image forming performance within the exposing field.

[0011]

A six-inch size is dominant for the conventional reticles while a one-fifth factor is dominant as the projection magnification of the projection optical system. At the magnification of one-fifth factor, the six-inch reticle may sometimes be insufficient for recent circuit patterns of the semiconductor device having the increased area. As a result, the projection optical device should so designed that the projection magnification of the projection optical system is changed to, for example,

quarter factors. Accordingly, it is important to design a projection optical apparatus where projection magnification of the projection optical system is changed to 1/4. According to large area of pattern to be transferred, the slit scanning exposure type can advantageously be applied.

[0012]

In this event, the alignment method based on the reticle and wafer coordinate systems used in the conventional steppers may be unfavorable when being applied to the projection type exposure apparatus of the slit scanning type. The projection magnification of quarter factors adversely affects the accuracy of the alignment because the alignment becomes more sensitive to writing errors of the circuit patterns on the reticle. A technique has been suggested in the above mentioned U.S. Patent Application Ser. No. 3-169781 to measure a rotation angle of the reticle by means of measuring simultaneously the amount of displacement of two or more measuring marks rather than moving the wafer stages in the stepper. However, the idea of measuring the rotation angle using the simultaneous measuring of the measuring marks cannot be applied to scanning directions of the projection type exposure apparatus of the slit scanning exposure type. Thus, there is a disadvantage that it is impossible to measure the rotation angle of the reticle and wafer coordinate systems and orthogonal amount of the coordinates of these coordinate systems.

[0013]

As for the method of measuring the base line amount of a displacement between the reference position within the exposing field of the projection optical system and the reference position of the alignment system of the off-axis type, the conventional measuring method using a pair of marks on the reticle in the stepper is disadvantageous, when it is applied to the projection type exposure apparatus of the slit scanning exposure type with no modification, in that the writing error of the reticle significantly affects the measurements.

[0014]

With respect to these problems, the present invention is directed to provide an exposure method capable of reducing affect of the writing error between the patterns on the reticle (mask), allowing the accuracy of alignment of the reticle coordinate system (mask coordinate system) and the wafer coordinate system (substrate coordinate system) in the exposure apparatus of the slit scanning exposure type. In light of this, speed of operation may sometimes be considered to be more important than the accuracy of alignment depending on the process. With this respect, another object of the present invention is to provide an exposure method capable of aligning the reticle coordinate system (mask coordinate system) with the wafer coordinate system (substrate coordinate system) at a higher throughput.

[0015]

Yet another object of the present invention is to provide an exposure method capable of reducing affect of the writing error between the patterns on the reticle (mask), allowing the accuracy of measurement of the base line amount of a displacement between the reference point in the exposing field of the projection optical system and the reference point of the alignment system of off-axis type in the exposure apparatus of the slit scanning exposure type.

[0016]

In a case where the base line measurement is performed for every predetermined number of wafer replacements, speed of operation may be considered to be more important than the accuracy of alignment. At the same time, the reticle coordinate system (mask coordinate system) is preferably aligned to the wafer coordinate system (substrate coordinate system). With this respect, another object of the present invention is to provide an exposure method and an exposure apparatus capable of aligning the reticle coordinate system (mask coordinate system) to the wafer coordinate system (substrate coordinate system) and of measuring the base line therefor at a higher throughput for every predetermined number of wafer replacements.

[0017]

Means to Solve Problems

In an exposure method according to a first aspect of the present invention, the method includes: exposing pattern images larger than an illumination area of a predetermined shape on said mask (12) on said substrate (5), by means of illuminating an illumination area of a predetermined shape using illumination light, and exposing pattern images on said mask (12) within said illumination area of the predetermined shape through a projection optical system (8) to said substrate (5) on a stage (4) to scan a mask (12) and a substrate (5) synchronously relative to said illumination area of the predetermined shape in a relative scanning direction, wherein said method comprises; forming a plurality of measuring marks (29A to 29D) on said mask (12) along said relative scanning direction; disposing reference mark members (6) with the plurality of reference marks (35A to 35D) formed on said stage (4) at a almost conjugated position to the plurality of measuring marks; measuring successively a displacement amount between one measuring mark within a plurality of measuring marks (29A, 29B, ...) on said mask (12) and said reference marks (35A, 35B, ...) corresponding to said stage (4) while moving said mask (12) and said substrate (5) synchronously in said relative scanning direction; and obtaining a corresponding relationship between a coordinate system on said mask (12) and a coordinate system on said stage (4) according to the displacement amount between the plurality of measuring marks and the plurality of reference marks, respectively.

[0018]

In a projection exposure method according to a second aspect of the present invention, in the same premise as above-described invention, the method includes: disposing an alignment system (34) of an off-axis type provided on said substrate (5) in a periphery of the projection optical system (8) to detect a position of the alignment mark which determines the position on said substrate; forming a plurality of measuring marks (29A to 29D) on said mask (12) along said relative scanning direction; disposing a reference mark member (6) on a stage (4) in which a first and a second reference marks (35A and 37A) are formed at a distance corresponding to a distance between a reference point within the exposing field of the projection optical system (8) and a reference point of the alignment system (34) of the off-axis type.

[0019]

The method includes: in the state of observing said second reference mark (37A) on said reference member (6) with the alignment system (34) of the off-axis type, said mask (12) in a relative scanning direction to successively measure a displacement amount between one measuring mark (29A, 29B, ...) within a plurality of measuring marks on said mask (12) and said the first reference mark (35A) of said stage (4); and obtaining a distance between a reference point within an exposing field of said projection optical system (8) and a reference point of the alignment system (34) of the off-axis type by an average value of a displacement amount between the plurality of measuring marks and said first reference mark and a displacement amount between said measuring marks and said second reference mark observed with alignment system (34) of off-axis type.

[0020]

In an exposure method according to a third aspect of the present invention, in the projection exposure method of the second aspect, the method includes forming the plurality of first reference marks (35A to 35D) corresponding to a plurality of measuring marks (29A to 29D) on said mask (12) on said reference mark member (6); forming a plurality of second reference marks (37A to 37D) at a distance corresponding to a distance between a reference point within the exposing field of the projection optical system (8) and a reference point of the alignment system of the off-axis type from a plurality of first reference mark (35A to 35D); measuring successively a displacement amount between one measuring mark within a plurality of measuring marks (29A, 29B, ...) on said mask (12) and said first reference marks (35A, 35B, ...) corresponding to said stage (4) while moving said mask (12) and said stage (4) synchronously in said relative scanning direction; and observing a reference mark (37A, 37B, ...) corresponding within the plurality of second reference mark with alignment system (34) of off-axis type, obtaining a distance between a reference point within an exposing field of said projection optical system (8) and a reference point of the alignment system (34) of the off-axis type by an average value of a

displacement amount between the plurality of measuring marks and said first reference mark, and an average value of a displacement amount between said measuring marks and said second reference mark observed with alignment system (34) of off-axis type.

[0021]

In an exposure method according to a fourth aspect of the present invention, in the same premise as above-described invention, in the same manner as the above-described projection exposure method of the first aspect, the method includes a first step obtaining a displacement amount between a plurality of measuring marks (29A, 29B, ...) on said mask (12) and the corresponding reference mark (35A, 35B, ...); a second step measuring once a displacement amount between a predetermined measuring mark (29A) within a plurality of measuring mark on said mask and a reference mark (35A) corresponding to said stage, and easily obtaining a displacement amount between said measuring mark (29A) and said reference mark (35A); a third step selecting any of said first step and said second step, and obtaining coordinate relationship of coordinate system on said mask (12) based on a displacement amount between said measuring mark obtained in the selected step and said reference mark and coordinate system on said stage (4).

[0022]

In an exposure method according to a fifth aspect of the present invention, in the same premise as above-described invention, in the same as the above-described second projection exposure method, the method includes: a first step moving said mask (12) in a relative scanning direction to successively measure a displacement amount between one measuring mark within a plurality of measuring mark (29A, 29B, ...) on said mask (12) and said the first reference mark (35A, 35B...) in the state of observing said second reference mark (37A, 37B, ...) on said reference mark member (6) with the alignment system of the off-axis type; a second step easily measuring a displacement amount between one predetermined measuring mark (29A) within a plurality of measuring mark on said mask (12) and said the first reference mark (35A) in the state of observing said second reference mark (37A) on said reference mark member (6) with the alignment system of the off-axis type; a third step selecting any of said first step and said second step; a fourth step obtaining a corresponding relationship between a coordinate system on said mask and a coordinate system on said stage by the displacement amount between said measuring marks and said reference marks, respectively, which is measurement results in any step selected in the third step and the displacement amount between said measuring marks and said second reference mark observed with alignment system of said off-axis type, and a distance (base line amount) between a reference point within an

exposing field of said projection optical system and a reference point of the alignment system of the off-axis type.

[0023]

In an exposure method according to a sixth aspect of the present invention, in the same premise as above-described invention, the method includes: disposing an alignment system (34) of an off-axis type provided on said substrate (5) in a periphery of the projection optical system (8) to detect a position of the alignment mark which determines the position on said substrate, forming a plurality of measuring marks (29A, 29B, ...) on said mask (12) along said relative scanning direction; disposing reference mark members (6) in which a plurality of reference marks is formed with reference marks formed on said stage (4) at a almost conjugated position to the plurality of measuring marks, wherein the plurality of reference mark are composed of the first reference mark (35A, 35B, ...) and the second reference mark (37A, 37B, ...) formed at a distance corresponding to a distance between a reference point of the projection optical system and a reference point of the alignment system of the off-axis type.

The method includes: each time when exchanging a predetermined number of sheets of said substrate (5), in the state of observing said second reference mark (37A) on said reference member (6) with the alignment system of the off-axis type, measuring a displacement amount between one predetermined measuring mark (29A) within a plurality of measuring mark on said mask (12) and said corresponding first reference mark (35A); by displacement amount measured in this way and a displacement amount between one measuring mark and said second reference mark (37A) observed with alignment system of off-axis type; obtaining coordinate relationship of coordinate system on said mask and coordinate system on said stage, and said projection optical system obtaining a distance (base line amount) between a reference point within an exposing field of said projection optical system and a reference point of the alignment system of the off-axis type.

[0024]

According to the projection exposure method of the first aspect of this invention, the method include: disposing a plurality of measuring marks on said mask (12); disposing reference marks at a almost conjugated position to said measuring marks on reference mark members (6), mark displacement is measured while transferring mask (12) and stage (4) by stepping method. It is possible to reduce an effect of the writing error of the measuring marks on the mask (12) by means of obtaining a parameter (such as the magnification, scaling in the scanning direction, rotation, degree of parallelism in the scanning direction, and offsets in an X direction and a Y direction) for use in aligning the mask coordinate system with the substrate

coordinate system by using the least square approximation by means of eventually matching the displacement obtained, for example, at each position of the measuring mark on the mask (12). Further, since mark measurement of relative scan direction is performed individually and in order, non-simultaneous measurement is performed. However, when plural measurements are performed, there is an averaging effect. Accordingly, the measurement can be performed with accuracy.

[0025]

According to the second projection exposure method, it is possible to measure accurately the base line amount of the distance between the reference point of the projection optical system (8) and the reference point of the alignment system (34) by means of reducing the writing error of the measuring marks on the mask (12) by averaging a measurement result with reference to a plurality of measuring marks of mask (12). According to the third exposure method, a plurality of first reference marks (35A to 35D) are formed on a reference mark member (6) which are correspondent with the plurality of measuring marks (29A to 29D), respectively, on the mask (12). In addition, a plurality of second reference marks (37A to 37D) are formed at such a distance that corresponds to the distance between the reference point within the exposing field of the projection optical system (8) and the reference point of the alignment system (34) with of-axis type from the plurality of first reference marks (35A to 35D). Accordingly, the base line amount can be measured more accurately because the balancing is made across the reference marks.

[0026]

According to the fourth exposure method, measuring a displacement amount between measuring mark (29A) and reference mark (35A) once by selecting the second step in cases when a higher throughput is required, and by performing the first step in cases when high accuracy is required, cases when speed is required can be met. In this case, a displacement amount from the original position of measuring mark (29A) (called mark error) can be stored in the first step; when performing the second step, the mark error can be corrected, and thereby a requirement of higher throughput and high accuracy can be met.

[0027]

According to the fifth exposure method, measuring a displacement amount between a measuring mark (29A) and the first reference mark (35A) once in a state of observing the second reference mark (37A) in alignment system (34) by selecting the second step; in cases when a higher throughput is required, cases when speed is required can be met by performing the first step in cases when high accuracy is required. In this case, the mark error can be obtained and stored in the first step; when performing the second step, the mark error can be corrected, and thereby a requirement of higher throughput and high accuracy can be met.

[0028]

According to the sixth exposure method, in a state of observing a predetermined number of substrates (5) replacement, each time when exchanging a predetermined number of sheets of the substrates (5), i.e, for each exposure of a predetermined number of substrates (5), measuring a displacement between a measuring mark (29A) and a first reference mark (35A) once in a state of observing the second reference mark (37A) in alignment system (34) of off-axis type, and by the measurement result, the corresponding relationship between the coordinate system on the mask and the coordinate system on the stage as well as the base line amount are calculated. It can be measured at a higher throughput.

[0029]

Embodiments

A projection exposure method according to a first embodiment of the present invention is now described below with reference to the drawing. This embodiment is what the present invention is applied to a case where patterns on the reticle are exposed on a wafer by using a projection type exposure apparatus of a slit scanning exposure type. FIG. 1 shows a projection type exposure apparatus according to this embodiment. In FIG. 1, patterns on a reticle 12 are illuminated through an illumination area (hereinafter, referred to as a "slit-shaped illumination area") of a rectangular shape formed by exposure light EL from an illuminating optical system which is not shown in the figure. Images of the patterns are projected and exposed on a wafer 5 through a projection optical system 8. In this event, the wafer 5 is scanned backward from the perspective to the surface of FIG. 1 at a constant velocity V/M (where $1/M$ is a reduction magnification of the projection optical system 8) in synchronism with the scanning of the reticle 12 forward from the perspective of the surface of FIG. 1 at the constant velocity of V relative to the slit-shaped illumination area of the exposure light EL.

[0030]

Described below is a driving system for the reticle 12 and the wafer 5. A reticle Y-driving stage 10 is mounted on a reticle supporting platform 9. The reticle Y-driving stage 10 is drivable in a direction of a Y axis (a direction perpendicular to the paper surface of FIG. 1). A reticle fine driving stage 11 is mounted on the reticle Y-direction driving stage 10. The reticle 12 is held by a vacuum chuck or the like on the reticle fine driving stage 11. The reticle fine driving stage 11 controls a position of the reticle 12 slightly with a high accuracy in an X direction parallel to the paper surface of FIG. 1, Y direction and a rotation direction (θ direction) within a plane orthogonal to the optical axis of the projection optical system 8. A movable mirror 21 is disposed on the reticle fine driving stage 11. Positions of the reticle fine driving

stage 11 are monitored continuously in the X, Y and θ directions through an interferometer 14 disposed on the reticle supporting platform 9. Position information S1 obtained by the interferometer 14 is supplied to a main control system 22A.

[0031]

A wafer Y-axis driving stage 2 is mounted on a wafer supporting platform 1. The wafer Y-axis driving stage 2 is drivable in a direction of the Y-axis. A wafer X-axis driving stage 3 is mounted on the wafer Y-axis driving stage 2. The wafer X-axis driving stage 3 is drivable in a direction of an X-axis. A Z θ -axis driving stage 4 is disposed on the wafer X-axis driving stage 3. The wafer 5 is held on the Z θ -axis driving stage 4 by a vacuum. A movable mirror 7 is fixed to the Z θ -axis driving stage 4. Positions of the Z θ -axis driving stage 4 are monitored in the X, Y and θ directions through an interferometer 13 arranged outside. Position information obtained by the interferometer 13 is also supplied to the main control system 22A. The main control system 22A controls positioning operation, through a wafer driving device 22B or the like, the wafer Y-axis driving stage 2, the wafer X-axis driving stage 3 and the Z θ -axis driving stage 4 and controls the operation of the entire device.

[0032]

As will be described later, a reference mark plate 6 is secured to the surface of the Z θ -axis driving stage 4 at a position closer to the wafer 5 to align a wafer coordinate system and a reticle coordinate system. The wafer coordinate system is defined by a coordinate measured by the interferometer 13 at the wafer side. The reticle coordinate system is defined by a coordinate measured by the interferometer 14 at the reticle side. Various reference marks are formed on the reference mark plate 6 as will be described later. Some of these reference marks (luminous reference marks) are illuminated from the backside by illumination light led to the Z θ -axis driving stage 4 side.

[0033]

Reticle alignment microscopes 19 and 20 are provided over the reticle 12 of this embodiment to observe the reference marks on the reference mark plate 6 and the marks on the reticle 12 simultaneously. In such a case, deflection mirrors 15 and 16 are movably disposed to lead the detection light supplied from the reticle 12 to the reticle alignment microscopes 19 and 20, respectively. When an exposure sequence begins, the deflection mirrors 15 and 16 are withdrawn by mirror driving devices 17 and 18 in response to a command supplied from the main control system 22A. An alignment device 34 of the off-axis type is also provided at a Y-direction side of the projection optical system 8 to observe the alignment marks (wafer marks) on the wafer 5.

[0034]

A keyboard 22C is connected to the main control system 22A, allowing an operator to enter commands. The projection exposure apparatus according to this embodiment has a quick mode for measuring quickly the base line amount or the like along with a mode for measuring the same with a high accuracy as will be described below. An operator indicates that the mode to be executed is whether the high accuracy mode or the quick mode through the keyboard 22C to the main control system 22A.

[0035]

Next, described with reference to flow charts in FIGs. 2A and 2B is an operational sequence from loading to the wafer 5 and reticle 12 to completion of the alignment in the projection type exposure apparatus according to this embodiment. First, at step 101 in FIG. 2A, reticle 12 is subjected to prealignment based on external form reference on a reticle loader (described below). FIG. 3 shows a reticle loader system for use in carrying the reticle 12 to the reticle fine driving stage 11 shown in FIG. 1. The reticle loader in FIG. 3 comprises two reticle arms 23A and 23B, an arm rotation axis 25 connected to the reticle arms 23A and 23B, and a rotation mechanism 26 for rotating the arm rotation axis 25. Grooves 24A and 24B for vacuuming are formed in a reticle mounting surface of the reticle arms 23A and 23B, respectively. The reticle arms 23A and 23B are so supported that they can rotate independently of each other through the arm rotation axis 25.

[0036]

During loading of the reticle 12, the reticle 12 is passed to the reticle arm 23A through a reticle carrying mechanism (not shown) at a position A3. At that time, the other reticle arm 23B is used for carrying, for example, another reticle used during a previous process. A reticle configuration prealignment mechanism (not shown) mounted near the position A3 aligns the reticle 12 on the reticle arm 23A based on the external form thereof with a predetermined accuracy. Subsequently, the reticle 12 is subjected to vacuum suction to the reticle arm 23A. Next, at step 102 in FIG. 2A, the rotation mechanism 26 rotates the reticle arm 23A through the arm rotation axis 25 to move the reticle 12 to a position B3 in the Y direction (a ready position (passing position) of the reticle driving stage 10 in FIG. 1).

[0037]

In this event, the groove 24A for vacuum suction is a groove extending in a direction orthogonal to a suction position on the reticle fine driving stage 11 and is located out of a pattern area of the reticle 12. Accordingly, the reticle arm 23A is allowed to advance and retract the reticle 12 freely to and from the reticle fine driving stage 11 with the reticle fine driving stage 11 moved to the topmost in the y direction of the scanning direction. When the reticle 12 arrives over the reticle fine driving stage 11 (FIG. 1), the arm rotation axis 25 retracts in a -Z direction. The reticle 12 is

thus mounted on the vacuum suction surface of the reticle fine driving stage 11. After completion of passing of the reticle 12, the reticle arm 23A is withdrawn.

Subsequently, the reticle fine driving stage 11 carries the reticle 12 towards a position C3. In this event, the reticle arms 23A and 23B are driven independently of each other. The reticle passing speed is increased by means of simultaneously performing loading and unloading of the reticles by these arms.

[0038]

Next, at steps following step 103 in FIG. 2 the reticle 12 is aligned. A mechanism and operation therefor are described. FIG. 4A shows arrangement of alignment marks (reticle marks) on the reticle 12. FIG. 4B shows a slit-shaped illumination area 32 or the like within an area 33R conjugated with an effective exposing field of the projection optical system over the reticle. A y direction corresponds to a scanning direction while an x direction corresponds to a direction orthogonal to the y direction. In FIG. 4A, a shield portion 31 is formed along a periphery of a pattern area at the center of the reticle 12. Reticle marks formed outside the shield portion 31 are: rough searching alignment marks 27 and 28 and fine alignment marks 29A, 29B, 29C, 29D, 30A, 30B, 30C and 30D. The rough searching alignment mark 27 at the right-hand side is formed of an elongated linear pattern and cross patterns. The linear pattern extends along the y direction of the scanning direction and the cross patterns are formed at both ends of the linear pattern. The searching alignment mark 28 at the left-hand side is formed symmetrically with the rough searching alignment mark 27 at the right-hand side.

[0039]

The fine alignment marks 29A and 29B are provided near the y direction between the shield portion 31 at the right-hand side and one cross pattern of the rough searching alignment mark 27. The fine alignment marks 29C and 29D are provided near the y direction between the shield portion 31 at the right-hand side and the other cross pattern of the rough searching alignment mark 27. The fine alignment marks 30A, 30B, 30C and 30D are formed at the left-hand side symmetrically with the fine alignment marks 29A, 29B, 29C and 29D, respectively. While each of the fine alignment marks 29A, 29B, 29C, 29D, 30A, 30B, 30C and 30D is shown as a cross mark in FIG. 4A, it is formed of two sets of three linear patterns arranged in the x direction at a predetermined distance and two sets of three linear patterns arranged in the y direction at a predetermined distance as shown in FIG. 4C.

[0040]

At step 103 in FIG. 2A, the rough searching alignment mark 28 at the left-hand side in FIG. 4A is detected by the reticle alignment microscope (hereinafter referred to as "RA microscope") 20 of FIG. 1. FIG. 4B shows observation areas 19R and 20R of the RA microscopes 19 and 20, respectively, on the reticle 12. During

rough searching, the rough searching alignment marks 27 and 28 are located out of the observation areas 19R and 20R and also out of an area 33R conjugated with the effective exposing field. This is because the rough searching alignment marks 27 and 28 should be large enough for rough searching but the exposing field of the projection optical system is so large, otherwise the diameter of a projection lens should be increased, resulting in increase of the costs. With this respect, procedures for performing the rough search in this embodiment is described in conjunction with FIGs. 5A and 5B.

[0041]

FIG. 5A is an enlarged view of one cross pattern and its periphery of the rough searching alignment mark 28. FIG. 5B is a reduced version of FIG. 5A. In FIGs. 5A and 5B, W represents a width of a square effective field of view $20R_{ef}$ of the RA microscope 20 and ΔR represents a designed value of a sum of a writing error and a mounting error of the patterns relative to the outer configuration of the reticle 12. Accordingly, as shown in FIG. 5B, one cross pattern 28a of the rough searching alignment mark 28 is always contained within a square area having the width of ΔR . What are to be detected are x and y coordinates of the cross pattern 28a. In this embodiment, the effective field of view $20R_{ef}$ having the width of W is scanned diagonally to the x and y axes in a direction passing at 45° to two axes of the alignment mark 28. The x and y coordinates of the cross pattern 28a are obtained as the x and y coordinates during crossing alignment mark 28 at that time when the alignment mark 28 is diagonally scanned.

[0042]

For this purpose, an integer portion of a positive real number a is represented by $INT(a)$. The number of search fields or the least number of scanning of the square area having the width ΔR with the effective field of view $20R_{ef}$ having the width W can be given by $\{INT(\Delta R/W) + 1\}$. This number of search fields is previously obtained. The $\{INT(\Delta R/W) + 1\}$ effective fields of view A5, B5, C5,..., each having the width W are set diagonally to the square area having the width ΔR around the first effective field of view B5. The reticle fine driving stage 11 shown in FIG. 1 is driven to step the effective fields of view, thereby sampling images within each effective field of view while setting them successively within the effective field of view $20R_{ef}$ in FIG. 5A.

[0043]

As shown in FIG. 5B, the cross pattern 28a of the alignment mark 28 to be searched is present within a search boundary having the width and length of at least $\Delta R \times \Delta R$. The alignment mark 28 is large enough to the search boundary. Accordingly, to step the effective fields of view in a diagonal direction to the alignment mark 28 makes it possible to detect the coordinates of the cross pattern 28a

of the alignment mark 28 with a least number of fields. The image processing at that time may be a one-dimensional image processing on image signals obtained by means of adding the scanning lines of all lines within the picked-up image.

[0044]

FIGs. 6A to 6F show image signals obtained by means of so adding the scanning lines of all lines. FIGs. 6A and 6D represent image signals obtained along the x and y directions, respectively, within the effective field of view A5 in FIG. 5B. FIGs. 6B and 6E represent image signals obtained along the x and y directions, respectively, within the effective field of view B5 in FIG. 5B. FIGs. 6C and 6F represent image signals obtained along the x and y directions, respectively, within the effective field of view C5 in FIG. 5B. The x coordinate of the cross pattern 28a is obtained from the image signal shown in FIG. 6B while the y coordinate of the cross pattern 28a is obtained from the image signal shown in FIG. 6F.

[0045]

After detecting the searching reticle mark 28 in this manner, the rough searching alignment mark 27 is moved to the observation area of the RA microscope 19 at step 104 in FIG. 2A. The position of the alignment mark 27 is detected in the same manner as described above. In this event, the portion of the reference mark plate 6 in FIG. 1 where no pattern is included is moved within the exposing field of the projection optical system 8 to illuminate the portion from the bottom. The illumination light emitted from the reference mark plate 6 allows illumination of the rough searching alignment marks 27 and 28 from the backside.

[0046]

The above mentioned sequence roughly aligns the position of the rough searching alignment marks 27 and 28 and the reticle coordinate system relative to the observation areas 19R and 20R of the RA microscopes 19 and 20 in FIG. 4B. In addition, rough alignment of the observation areas 19R and 20R of the RA microscopes with the wafer coordinate system can be made by means of measuring the reference marks on the reference mark plate 6 in FIG. 1 through the RA microscopes 19 and 20. As a result, rough alignment is completed such that the fine alignment marks 29A, 29B, 29C, 29D, 30A, 30B, 30C and 30D are not overlapped with the reference marks (described below) of the reference mark plate 6.

[0047]

In this embodiment, the alignment marks on the reticle 12 are formed of the rough searching alignment marks and the fine alignment marks for the purpose of reducing the diameter of the lens of the projection optical system 8. However, the rough searching alignment marks and the fine alignment marks may be used as common marks when a lens of the projection optical system 8 of the larger diameter can be available. In such a case, searching can be made in the same manner on the

alignment marks by means of stepping in a diagonal direction as shown in FIGs. 5A and 5B. The searching of the alignment marks can be made simultaneously through the RA microscopes 19 and 20.

[0048]

Next, a sequence for fine alignment is described. Detailed structure of the wafer stage and the reticle stage is described first. FIG. 7A is a plan view of the wafer stage. In FIG. 7A, the wafer 5 and the reference mark plate 6 are disposed on the Z θ -axis driving stage 4. Movable mirrors 7X and 7Y for the X and Y axes, respectively, are secured to the Z θ -axis driving stage 4. A slit-shaped illumination area 32W, corresponding to the slit-shaped illumination area 32 in FIG. 4B, is illuminated by exposure light on the wafer 5. Observation areas 19W and 20W are conjugated with the observation area 19R and 20R, respectively, in FIG. 4B.

[0049]

Laser beams LWX and LW_{of} are directed to the movable mirror 7X at a distance IL in the direction parallel to the X axis along optical paths passing the optical axis of the projection optical system and a reference point of the alignment device 34, respectively. Laser beams LWY1 and LWY2 with a distance IL are directed to the movable mirror 7Y along optical paths parallel to the Y axis. During exposure, a coordinate value measured by an interferometer using the laser beam LWX is used as the X coordinate of the Z θ -axis driving stage 4. Used as the Y coordinate is an average $(Y_1 + Y_2)/2$ of coordinate values Y \square and Y \square measured by interferometers using the laser beams LWY1 and LWY2, respectively. For example, the rotation amount in the rotation direction (θ direction) of the Z θ -axis driving stage 4 can be measured according to the difference between the coordinate values Y \square and Y \square . The position and a rotation amount within an XY plane of the Z θ -axis driving stage 4 is controlled according to these coordinates.

[0050]

In particular, for the Y direction of the scanning direction, an error due to air fluctuation or the like during scanning is relieved using an averaging effect by means of applying the average value of the measured results obtained by two interferometers. When the alignment device 34 of the off-axis type is used, the position in the X-axis direction is so controlled as not to cause a so-called Abbe's error according to measured values of an exclusive interferometer using the laser beam LW_{of}.

[0051]

FIG. 7B is a plan view of the reticle stage. In FIG. 7B, the reticle fine driving stage 11 is mounted on the reticle Y-axis driving stage 10, on which the reticle 12 is held. A movable mirror 21x for the x axis and two movable mirrors 21y1 and 21y2 for the y axis are secured to the reticle fine driving stage 11. A laser beam LRx is directed to the movable mirror 21x in parallel with the x axis. Laser beams LRY1 and

LRy2 are directed to the movable mirrors 21y1 and 21y2, respectively, in parallel with the y axis.

[0052]

As in the case of the wafer stage, a coordinate in the y direction of the reticle fine driving stage 11 is an average value of $(y_1 + y_2)/2$ of coordinates y_1 and y_2 measured by two interferometers using the laser beams LRy1 and LRy2, respectively. A coordinate in the x direction is a coordinate value measured by an interferometer using the laser beam LRx. The rotation amount in a rotation direction (θ direction) of the reticle fine driving stage 11 is measured according to the difference between, for example, the coordinate values y_1 and y_2 .

[0053]

In this event, corner-cube reflector elements are used as the movable mirrors 21y1 and 21y2 in the y direction of the scanning direction. The laser beams LRy1 and LRy2 reflected from the movable mirrors 21y1 and 21y2 are in turn reflected back from reflection mirrors 39 and 38, respectively. More specifically, the interferometer for the reticle is a double-path interferometer. Accordingly, rotation of the reticle fine driving stage 11 does not shift or displace the position of the laser beams. As in the case of the wafer stage, the reticle 12 is provided with the slit-shaped illumination area 32 and the observation areas 19R and 20R of the RA microscopes 19 and 20, respectively. The Z θ -axis driving stage 4 in FIG. 7A and the reticle 12 can be observed only through the observation areas 19R and 20R. A relationship between the reticle 12 and the Z θ -axis driving stage 4 is so measured as to improve the rotation accuracy of the reticle 12 and the wafer 5 as well as the alignment accuracy on exposing. A method thereof is described in conjunction with FIGs. 8A, 8B, 8C, 8D, 8E and 9.

[0054]

FIG. 8A shows an reticle image 12W obtained by means of projecting the reticle 12 in FIG. 4 to the reference mark plate 6 in FIG. 7A. In FIG. 8A, shown are mark images 29AW, 29BW, 29CW and 29DW conjugated with the fine alignment marks 29A, 29B, 29C and 29D, respectively, in FIG. 4A and mark images 30AW, 30BW, 30CW and 30DW conjugated with the fine alignment marks 30A, 30B, 30C and 30D, respectively. Each of the mark images 29AW, 29BW, 29CW, 29DW, 30AW, 30BW, 30CW and 30DW is formed of four sides each comprising three linear patterns as shown in FIG. 8B.

[0055]

FIG. 8C shows arrangement of reference marks on the reference mark plate 6. Formed on the reference mark plate 6 in FIG. 8C are reference marks 35A, 35B, 35C, 35D, 36A, 36B, 36C and 36D arranged in a manner similar to the mark images 29AW, 29BW, 29CW, 29DW, 30AW, 30BW, 30CW and 30DW in FIG. 8A. These

reference marks are illuminated by illumination light that is equal in wavelength to the exposure light. A reference mark 37A is also provided on the reference mark plate 6 at a position away from a center between the reference marks 35A and 36A at a distance IL in the Y direction of the scanning direction. The distance IL corresponds to the base line amount, the distance between the reference point of the projection optical system 8 in FIG. 1 and the reference point of the alignment device 34 of the off-axis type. Likewise, reference marks 37B, 37C and 37D are formed as positions away from centers between the reference marks 35B and 36B, between the reference marks 35C and 36C, and between the reference marks 35D and 36D, respectively, at a distance IL in the Y direction.

[0056]

Each of the reference marks 35A, 35B, 35C, 35D, 36A, 36B, 36C and 36D is formed of linear patterns of 7-row by 7-column as shown in FIG. 8D. The reference marks 35A, 35B, 35C, 35D, 36A, 36B, 36C, and 36D have sizes smaller than the mark images 29AW, 29BW, 29CW, 29DW, 30AW, 30BW, 30CW and 30DW in FIG. 8B. The reference marks 37A, 37B, 37C and 37D are, as shown in FIG. 8E, associated lattice points of a grid pattern formed at a predetermined pitch in the X and Y directions.

[0057]

In such a case, at step 105 in FIG. 2A, a relative position relationship and a relative rotation angle of the reticle 12 and the RA microscopes 19 and 20 are calculated on the basis of the results obtained at the steps 103 and 104 to move the fine alignment marks 29A and 30A in FIG. 4A into the observation area 19R and 20R of the RA microscopes 19 and 20, respectively. Subsequently, at step 106, the reference marks 35A and 36A on the reference mark plate 6 in FIG. 8C are moved into the observation areas 19W and 20W (see FIG. 9) conjugated with the observation areas 19R and 20R, respectively. As a result, the mark image 29AW and the reference mark 35A are observed simultaneously within the observation area 19W and the mark image 30AW and the reference mark 36A are observed simultaneously within the observation area 20W as shown in a portion depicted by 220 shown in FIG. 9. Subsequently, at step 107 in FIG. 2A, the images observed through the RA microscopes 19 and 20 are converted into image pick-up signals and sampled. At the same time, the detection signals of the associated reference mark images are also sampled in the alignment device 34 of the off-axis type.

[0058]

At the portion 220 in FIG. 9A, the reticle image 12W of the projection image of the reticle 12 is projected to the reference mark plate 6. As shown in a portion 222 shown in FIG. 9, the observation areas 19W and 20W are located at positions crossing the optical axis within the exposing field of the projection optical system 8. The

reference mark 37A is within the observation area of the alignment device 34 of the off-axis type. As in the case of the slit scanning exposure, the reticle fine driving stage 11 in FIG. 7B is moved downward (to a -y direction) in synchronism with movement of the Z θ -axis driving stage 4 in FIG. 7A upward (to the Y direction). As a result, the reference mark plate 6 and the reticle image 12W are moved together to the Y direction as shown in FIGs. 9A and 9B. In this event, the observation areas 19W and 20W of the RA microscopes 19 and 20 and the alignment device 34 of the off-axis type are all fixed, so that from a set of marks with a symbol A (the mark images 29AW, 30AW, the reference marks 35A, 36A and 37A) to a set of marks with a symbol D (the mark images 29DW, 30DW, the reference marks 35D, 36D and 37D) are moved under the observation areas 19W and 20W and the alignment device 34.

[0059]

At a first stop position after initiation of alignment shown in the portion 220 in FIG. 9, the mark image 29AW and the reference mark 35A are located under the observation area 19W. The mark image 30AW and the reference mark 36A are located under the observation area 20W. The reference mark 37A is located under the alignment device 34 of the off-axis type. These marks with the symbol A are all observed at the same time. After completion of measurement at the first stop position, the reticle image 12W and the reference mark plate 6 are moved synchronously to a second stop position by the stepping operation. The set of marks observed at the first stop position under the observation areas 19W and 20W and the alignment device 34 is a set of marks with the symbol A while the set of marks present at this second stop position under the observation areas 19W and 20W and the alignment device 34 is a set of marks with a symbol B (the mark image 29BP, the reference marks 35B, 37B in FIG. 8 or the like).

[0060]

By means of repeating the above mentioned sequence for third and fourth stop positions (as shown in FIG. 9B), the mark image of the reticle image 12W and the reference marks on the reference mark plate 6 are measured through the RA microscopes 19 and 20 and the alignment device 34 of the off-axis type in the order of the set of marks with the symbol A, the set of marks with the symbol B, the set of marks with the symbol C and the set of marks with the symbol D. This corresponds to the operation illustrated in the steps 105 through 110 in FIGs. 2A and 2B. The so obtained measured result is clearly shown in FIG. 10.

[0061]

In FIG. 10, a vector of the alignment error of the reference mark 35A through the mark image 29AW is referred to as AL that is obtained by means of correcting the measured result obtained through the RA microscope 19 in the following manner. Likewise, vectors of the alignment errors of the reference marks 35B, 35C and 35D

through the mark image 29BW, 29CW and 29DW are referred to as BL, CL and DL, respectively. Likewise, AR represents a vector of the alignment error of the reference mark 36A through the mark image 30AW. BR, CR and DR represent vectors of the alignment errors of the reference marks 36B, 36C and 36D through the mark image 30BW, 30CW and 30DW, respectively. In addition, an error vector from the reference marks 37A, 37B, 37C and 37D to the reference point of the alignment device 34 are referred to as AO, BO, CO and DO, respectively, that are obtained by means of correcting the measured result obtained through the alignment device 34 of the off-axis type in a manner described below.

[0062]

ReAx, ReBx, ReCx and ReDx represent the coordinate values in the x direction measured by the interferometer 14 at the reticle side in FIG. 1, i.e., the coordinate values obtained by using the laser beam LRx in FIG. 7B when the error vectors AL, AR, BL, BR, CL, CR, DL and DR are obtained. ReAy1, ReBy1, ReCy1, ReDy1, ReAy2, to ReAy2 represent the coordinate values in the y direction measured by the interferometer 14 at the reticle side in FIG. 1, i.e., the coordinate values obtained by using the laser beams LRy1 and LRy2 in FIG. 7B when the error vectors AL, AR, BL, BR, CL, CR, DL and DR are obtained. WaAx, WaBx, WaCx and WaDx represent the coordinate values in the X direction measured by the interferometer 13 at the wafer side in FIG. 1, i.e., the coordinate values obtained by using the laser beam LWx in FIG. 7A when the error vectors AL, AR, BL, BR, CL, CR, DL and DR are obtained. WaAY1, WaBY1, WaCY1, WaDY1, WaAY2, WaBY2, WaCY2 and WaDY2 represent the coordinate values in the Y direction measured by the interferometer 13 at the wafer side in FIG. 1, i.e., the coordinate values obtained by using the laser beams LWY1 and LWY2 in FIG. 7A when the error vectors AL, AR, BL, BR, CL, CR, DL and DR are obtained.

[0063]

WaAOX, WaBOX, WaCOX and WaDOX represent the coordinate values in the X direction measured by the interferometer exclusive for the alignment device of the off-axis type at the wafer side in FIG. 1, i.e., the coordinate values obtained by using the laser beam LW_{OF} in FIG. 7A when the error vectors AO, BO, CO and DO are obtained. In this event, as shown in FIG. 7A, the distance between the laser beams LWY1 and LWY2 at the wafer side in the X direction is IL and the distance at the wafer side between the laser beams LRy1 and LRy2 at the reticle side is RL.

[0064]

Next, structure of the RA microscope 19 in FIG. 1 is described in detail for use in describing how to obtain the error vector AL or the like in FIG. 10. FIG. 11 shows the RA microscope 19 and its illumination system. In FIG. 11, illumination light EL having the same wavelength as the exposure light is introduced into the Z0-axis

driving stage 4 from the outside of the Z θ -axis driving stage 4 through an optical fiber 44. The exposure light may be relayed through lens systems rather than using the optical fiber 44. The so introduced illumination light illuminates the reference marks 35A, 35B, 35C and 35D on the reference mark plate 6 through a lens 45A, a beam splitter 45B and a lens 45C. The illumination light transmitted through the beam splitter 45B illuminates the reference marks 36A, 36B, 36C and 36D on the reference mark plate 6 through a lens 45D, a lens 45E, a mirror 45F and a lens 45G.

[0065]

For example, the light transmitted through the reference mark 35A focuses an image of the reference mark 35A on the file alignment mark 29 on the reticle 12 through projection optical system 8. The light from the image of the reference mark 35A and the alignment mark 29 is reached to a half mirror 42 through a deflection mirror 15, a lens 40A and a lens 40B. The light divided into two portions through the half mirror 42 are directed to image pick-up surfaces of image pick-up devices 43X and 43Y, respectively, for the X and Y axes, each of which being formed of two dimensional charged-coupled-device (CCD). The image 35AR of the reference mark 35 and the fine alignment mark 29A as shown in FIG. 12A are projected on the surface of the image pick-up devices 43Y and 43X, respectively. In this event, an image pick-up surface 43Xa of the image pick-up device 43X for the X axis is an area parallel to the X direction of the wafer stage and the direction of the horizontal scanning lines also corresponds to the X direction. An image pick-up surface 43Ya of the image pick-up device 43Y for the Y axis is an area parallel to the Y direction of the wafer stage and the direction of the horizontal scanning line corresponds to the Y direction.

[0066]

Accordingly, a displacement amount in the X direction between the reference mark 35A and the alignment mark 29A can be obtained according to an averaging of image pick-up signals S4X obtained by the image pick-up device 43X. A displacement amount in the Y direction between the reference mark 35A and the alignment mark 29A can be obtained according to an averaging of image pick-up signals S4Y obtained by the image pick-up device 43Y. These image pick-up signals S4X and S4Y are supplied to a signal processing device 41.

[0067]

More specifically, description is made in conjunction with an exemplified case where the set of marks with the symbol A is subjected to alignment. For example, the alignment mark 29A and the reference mark 35AR shown in FIG. 12A are observed through the RA microscope 19 at the same time. In FIG. 12A, the image signals S4X and S4Y within the image pick-up fields 43Xa and 43Ya enclosed by broken lines are detected as digital signals by means of carrying out an analog-to-digital conversion in

the signal processing device 41. The image data on the individual scanning lines are averaged independently for the X and Y axes in the signal processing device 41. The averaged image signals S4X' and S4Y' for the X and Y axes, respectively, are as shown in FIGs. 12B and 12C, respectively. These image data are processed as one-dimensional image processing signals.

[0068]

Calculation and processing on the so obtained signals in the signal processing device 41 produces relative displacements AL'_X and AL'_Y in the X and Y directions between the mark image 29AW of the reticle 12 and the reference mark 35A of the reference mark plate 6 in FIG. 10. Using the RA microscope 20 in FIG. 1, obtained are relative displacements AR'_X and AR'_Y in the X and Y directions between the mark image 30AW and the reference mark 36A. Likewise, obtained are relative displacements between the mark images 29BW, 29CW and 29DW and the reference marks 35B, 35C and 35D, respectively, in FIG. 10 and relative displacements between the mark images 30BW, 30CW and 30DW and the reference marks 36B, 36C and 36D, respectively.

[0069]

However, the image signal corresponding to the alignment mark 29A and the image signal corresponding to the reference mark image 35AR in FIG. 12B are controlled in position by the interferometer at the reticle side and the interferometer at the wafer side, respectively. Accordingly, measurement errors (= measured value - set value), $\Delta ReAx$, $\Delta ReAy1$, $\Delta ReAy2$, $\Delta WaAX$, $\Delta WaAY1$, and $\Delta WaAY2$ are caused due to following errors at the individual stages with respect to the measured coordinates $ReAx$, $ReAy1$ and $ReAy2$ obtained by the interferometer at the reticle side and the measured coordinates $WaAX$, $WaAY1$ and $WaAY2$ obtained by the interferometer at the wafer side during measurement of the set of marks with the symbol A (29AW, 35A, 30AW and 36A in FIG. 10). These measurement errors are contained in the relative displacements AL'_X and AL'_Y obtained through the calculation.

[0070]

With this respect, the results obtained by means of subtracting the errors from the relative displacements obtained through measurement correspond to an X component AL_X and a Y component AL_Y of the vector AL of the alignment error in FIG. 10. In this event, $(1/M)$ in a following equation represents a reduction magnification of the projection optical system 8, while IL and RL represent the distances described in conjunction with FIG. 7A.

[0071]

[Formula 1]

$AL_X = AL'_X - \Delta ReAx/M - \Delta WaAX$ (Equation 1), and

[0072]

[Formula 2]

$$AL_Y = AL'_Y - \Delta ReAy1/M - \{(\Delta WaAY1 + \Delta WaAY2)/2 - (\Delta WaAY2 - \Delta WaAY1) \cdot RL/IL\} \quad (\text{Equation 2}).$$

[0073]

Likewise, an X component AR_X and a Y component AR_Y of the vector AR of the alignment error in FIG. 10 can be given by following equations.

[0074]

[Formula 3]

$$AR_X = AR'_X - \Delta ReAx/M - \Delta WaAX \quad (\text{Equation 3}), \text{ and}$$

[0075]

[Formula 4]

$$AR_Y = AR'_Y - \Delta ReAy2/M - \{(\Delta WaAY1 + \Delta WaAY2)/2 - (\Delta WaAY2 - \Delta WaAY1) \times RL/IL\} \quad (\text{Equation 4}).$$

[0076]

Next, structure of the alignment device 34 is described in conjunction with FIG. 13 for use in describing the error vectors AO , BO , CO and DO in FIG. 10 obtained by means of correcting the results obtained by the alignment device 34 of the off-axis type.

[0077]

FIG. 13 shows structure of the alignment device 34. In FIG. 13, the light from the reference mark on the reference mark plate 6 is deflected from a deflection mirror unit 46 and is directed to a half prism 47. The light reflected from the half prism 47 is directed to an alignment optical system 48 (hereinafter, referred to as "FIA optical system") of an image processing type using white light. The light transmitted through the half mirror is directed to an alignment optical system 52 (hereinafter, referred to as "LIA optical system") for use in detecting the diffraction light from lattice marks using a heterodyne beam.

[0078]

Describing the FIA optical system 48, the illumination light from an illumination light source 49 is passed through the FIA optical system 48 and is deflected through the half prism 47 and the deflection mirror 46 to illuminate the reference marks on the reference mark plate 6. The back light therefrom goes back to the FIA optical system 48 through the same optical path. The light transmitted through the FIA optical system 48 is directed to a half prism 50A. The light beam transmitted through the half prism 50A focuses an image of the reference mark of the reference mark plate 6 on the image pick-up surface of an image pick-up device 51X for the X axis formed of a two-dimensional CCD. The light beam reflected from the half prism 50A focuses an image of the reference mark of the reference mark plate 6 on the image pick-up surface of an image pick-up device 51Y for the Y axis formed of a two-dimensional CCD.

[0079]

On the image pick-up surfaces of the image pick-up devices 51X and 51Y, images shown in FIG. 14A are focused. The reference marks on the reference mark plate 6 are grating points of the grating pattern. FIG. 14A projects an image 37P of the grating pattern. It is assumed that P and L represent grating pitch on the reference mark plate 6 of the image 37P of the grating pattern and a width of a dark line, respectively, the width L is significantly smaller than the pitch P. Focused on the image pick-up surface are reference mark (index mark) images 48X1 and 48X2 in the X direction and index mark images 48Y1 and 48Y2 in the Y direction illuminated by another illumination light other than the illumination light for the reference mark plate 6. The position of the reference marks on the reference mark plate 6 can be detected with the position of the index marks as the reference.

[0080]

More specifically, image pick-up area 51Xa and 51Ya in the directions conjugated with the X and Y directions, respectively, in FIG. 14A are picked up through the image pick-up devices 51X and 51Y in FIG. 13. The directions of the horizontal scanning lines of the image pick-up devices 51X and 51Y are directions conjugated with the X and Y directions, respectively. Image pick-up signals S5X and S5Y obtained by the image pick-up devices 51X and 51Y, respectively, are supplied to a signal processing device 56 in FIG. 13. The signal processing device 56 averages the image pick-up signals S5X and S5Y to produce image signals S5X' and S5Y' shown in FIGs. 14B and 14C, respectively. A displacement of the directed reference mark on the reference mark plate 6 is obtained according to these image signals. More detailed structure is disclosed in Japanese Patent Application No. 4-16589.

[0081]

It is assumed that relative displacements in the X and Y directions of the reference mark 37A relative to the reference mark obtained as a result of the image processing in FIG. 14A are represented by AO'_{fX} and AO'_{fY} when the reference mark to be detected is the reference mark 37A in FIG. 10. In this event, the position of the reference mark plate 6 is controlled on the wafer coordinate system, so that values obtained by subtracting the follow error and the rotation error of the Z θ -axis driving stage 4 in FIG. 7A from the measured result are an X component AO_X and a Y component AO_Y of the error vector AO in FIG. 10. The X component AO_X and the Y component AO_Y corresponding to the FIA optical system 48 in FIG. 13 are represented by AO_{fx} and AO_{fy} . That is, following equations are given:

[0082]

[Formula 5]

$$AO_{fX} = AO'_{fX} - (WaAOX - WaAX) \quad (\text{Equation 5}), \text{and}$$

[0083]

[Formula 6]

$$AO_{LY} = AO'_{LY} - (WaAY1 + WaAY2)/2 \quad (\text{Equation } 6).$$

[0084]

On the other hand, in the alignment system containing the LIA optical system 52 in FIG. 13, a laser beam emitted from a laser beam source 53 is transmitted through the LIA optical system 52 and the half prism 47, which is then deflected from the deflection mirror 45 and directed to the reference mark of a diffraction grating shape on the reference mark plate 6. The diffracted light from the reference mark goes back to the LIA optical system 52 through the same optical path. The diffracted light transmitted through the LIA optical system 52 is divided into two portions through a half prism 50B and directed to photosensitive elements 55X and 55Y for the X and Y directions, respectively.

[0085]

In this event, the laser beam emitted from the laser beam source 53 in the LIA optical system 52 is divided into two portions. A frequency difference of Δf is caused between frequencies of these two laser beams by an internal frequency shifter. Interference light of these two laser beams is received by a photosensitive element 54. The photosensitive element 54 produces a reference signal S6 having a frequency of Δf . Two laser beams having different frequencies (heterodyne beams) are directed to the reference mark of the diffraction grating shape on the reference mark plate 6 at an adequate incident angle. A ± 1 order diffracted light of these two laser beams from the reference mark returns in parallel in an orthogonal manner relative to the reference mark plate 6. An interference light of the ± 1 order light has an intensity varied at the frequency Δf and a phase thereof varies depending on the X and Y coordinates of the reference mark. The photosensitive element 55X produces a beat signal S7X having the frequency Δf and a phase varied depending on the X coordinate of the reference mark. The photosensitive element 55Y produces a beat signal S7Y having the frequency Δf and a phase varied depending on the Y coordinate of the reference mark. The reference signal S6 and the beat signals S7X and S7Y are supplied to the signal processing device 56.

[0086]

The signal processing device 56 in FIG. 13 calculates a displacement AO'_{LX} in the X direction of the reference mark 37A according to a phase difference $\Delta\phi_x$ between the reference signal S6 and the beat signal S7X as shown in FIG. 14D and calculates a displacement AO'_{LY} in the Y direction of the reference mark 37A according to a phase difference $\Delta\phi_y$ between the reference signal S6 and the beat signal S7Y as shown in FIG. 14E when the reference mark to be detected is the reference mark 37A in FIG. 10. When the following error and the rotation error of the Z θ -axis driving stage 4 in FIG. 7A are subtracted from the above calculation result,

the X component AO_X and Y component AO_Y of the error vector AO in FIG. 10 can be obtained. Let the X and Y components AO_X and AO_Y of the LIA optical system 52 in FIG. 13 be AO_{LX} and AO_{LY} , respectively. That is, the following equation can be given:

[0087]

[Formula 7]

$$AO_{LX} = AO'_{LX} - (WaAOX - WaAX) \quad (\text{Equation 7}), \text{ and}$$

[0088]

[Formula 8]

$$AO_{LY} = AO'_{LY} - (WaAY1 + WaAY2)/2 \quad (\text{Equation 8}).$$

[0089]

In the above mentioned manner, eight data AL_X , AL_Y , AR_X , AR_Y , AO_{IX} , AO_{IY} , AO_{LX} and AO_{LY} are measured by means of performing alignment at the positions of the mark group with the symbol A in FIG. 10. Measurement on the mark groups with the symbols A through D in such a sequence produces thirty-two ($= 8 \times 4$) data. Of these thirty-two data, the data obtained through the RA microscopes 19 and 20 are stored as measured data D_{xn} , D_{yn} while the data obtained through the alignment device 34 of the off-axis type is stored as measured data A_{xn} , A_{yn} . Subsequently, the operation proceeds step 111 in FIG. 2B.

[0090]

At the step 111 in FIG. 2B, it is assumed that coordinates in the x and y directions are F_{xn} and F_{yn} on a coordinate system where the reticle coordinate system and the wafer coordinate system are adapted to convert with only the linear error with respect to the measured data D_{xn} , D_{yn} corresponding to the RA microscopes 19 and 20. The following relationship holds:

[0091]

[Formula 9]

$$\begin{bmatrix} F_{xn} \\ F_{yn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Rx & -Rx \cdot (\omega + \theta) \\ Ry \cdot \theta & Ry \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_{xn} \\ D_{yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix} \quad (\text{Equation 9}).$$

[0092]

In addition, let nonlinear errors in the x and y directions be ϵ_{xn} and ϵ_{yn} , respectively, then the following equation can be given:

[0093]

[Formula 10]

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \epsilon_{xn} \\ \epsilon_{yn} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} F_{xn} \\ F_{yn} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} D_{xn} \\ D_{yn} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 1-R_x & -R_x \cdot (\omega + \theta) \\ R_y \cdot \theta & 1-R_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_{xn} \\ D_{yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

(Equation 10).

[0094]

Six parameters in Equation 9, R_x , R_y , θ , ω , O_x and O_y , are calculated by using the least square approximation to minimize the nonlinear error (ϵ_{xn} , ϵ_{yn}). In this event, the scaling parameter R_x in the x direction indicates a magnification error in the x direction between the reticle 12 and the reference mark plate 6. The scaling parameter R_y indicates a scaling error in the scanning direction (y direction) between the reticle coordinate system and the wafer coordinate system. The angle parameter θ represents the rotation error between the reticle 12 and the reference mark plate 6. The angle parameter ω represents the parallelism in the scanning direction of the reticle coordinate system and the wafer coordinate system. The offset parameters O_x and O_y represent offset values in the x and y directions, respectively.

[0095]

Next, at steps 112 and 113 in FIG. 2, the base line amount is obtained. Let averages of the data A_{xn} and A_{yn} measured through the alignment device 34 of the off-axis type be $\langle A_x \rangle$ and $\langle A_y \rangle$, respectively, then the offset during measurement of the base line amount becomes ($\langle A_x \rangle - O_x$, $\langle A_y \rangle - O_y$). Accordingly, control should be switched during alignment from the interferometer using the laser beam LWX in FIG. 7A (hereinafter, also referred to as "exposing interferometer LWX") to the interferometer using the laser beam LW_{OF} (hereinafter, also referred to as "off-axis exclusive interferometer LW_{OF} "). When the FIA optical system 48 in FIG. 13 is used, averages of the measured data A_{xn} and A_{yn} are represented by $\langle A_{fx} \rangle$ and $\langle A_{fy} \rangle$, respectively. Then, the offset of the offset ($\langle A_{fx} \rangle - O_x$, $\langle A_{fy} \rangle - O_y$) is taken into consideration in the measured values of the interferometer corresponding to the laser beams LWY1, LWY2 and LW_{OF} in FIG. 7A to perform the alignment. On the other hand, when the LIA optical system 52 in FIG. 13 is used, averages of the measured data A_{xn} and A_{yn} are represented by $\langle AL_x \rangle$ and $\langle AL_y \rangle$, respectively. Then, the offset ($\langle AL_x \rangle - O_x$, $\langle AL_y \rangle - O_y$) is taken into consideration in the measured values of the interferometer.

[0096]

The above mentioned correction technique means that the reference coordinate system of the stage coordinate system is set according to the reference marks on the reference mark plate 6. In such a case, in other words, an axis passing the reference

marks 37A, 37B, 37C and 37D on the reference mark plate 6 serves as a reference axis, and obtained is a read value (yawing value) of the off-axis exclusive interferometer LW_{OF} on this reference axis with the read value of the exposing interferometer LWX of zero on this reference axis. During exposure, by using, as "values of the interferometers for delivery", the read value of the exposing interferometer LWX and the result of yawing value correction made on the read value (yawing value) of the off-axis exclusive interferometer LW_{OF} , the positioning of the wafer 5 is performed according to these values for the delivery.

[0097]

On the other hand, in FIG. 7A for example, an alternative method may be used where the movable mirror 7X for the X axis is used as the reference axis of the stage coordinate system. In such a case, in a condition shown in FIG. 7A, the read values of the exposing interferometer LWX and the off-axis exclusive interferometer LW_{OF} are reset simultaneously (to zero), the measured values are used for the subsequent exposure without using the interferometer values for delivery. On the other hand, during alignment, obtained is an inclined angle θ_{XF} of the reference axis passing the reference marks 37A, 37B, 37C and 37D on the reference mark plate 6 relative to the movable mirror 7X. Then, such a value is used that is obtained by means of correcting with $IL \cdot \theta_{XF}$ on the read value of the off-axis exclusive interferometer LW_{OF} using the distance IL between the laser beams LWX and LW_{OF} . As a result, it becomes possible to use the read values of the exposing interferometer LWX and the off-axis exclusive interferometer LW_{OF} as they are during exposure.

[0098]

Next, the measured data D_{xn} , D_{yn} represents only the relative error between the wafer coordinate system and the reticle coordinate system. Accordingly, when the least square approximation is performed using the wafer coordinate system as a reference, the obtained parameters R_x , R_y , θ , ω , O_x and O_y are all represented as the linear errors of the reticle coordinate system with the wafer coordinate system as the reference. With this respect, let the x and y coordinates of the reticle coordinate system be r_{xn} and r_{yn} , respectively, the reticle may be driven according to a fresh coordinates (r_{xn} , r_{yn}) obtained, depending on the movement of the wafer coordinate system, by the following equation:

[0099]

[Formula 11]

$$\begin{bmatrix} r_{xn} \\ r_{yn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_x & -R_x \cdot (\omega + \theta) \\ R_y \cdot \theta & R_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{xn}' \\ r_{yn}' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix}$$

(Equation 11).

[0100]

In this processing, the offsets O_x and O_y has already been corrected at the reticle side, so that only the offset of ($\langle A_x \rangle$, $\langle A_y \rangle$) is required to be corrected as the base line amount. In addition, when the reticle coordinate system is used as the reference, the results are all reversed and correction may be made on the wafer coordinate system. These correction may be controlled separately by means of correcting on the wafer coordinate system during the rough alignment and correcting on the reticle coordinate system during the fine alignment.

[0101]

As mentioned above, according to the present invention, the reticle alignment and check of the base line amount are made during a single reticle alignment using a plurality of marks, so that it becomes possible to averaging the writing error of the reticle and the positioning error between the reticle and the wafer. This improves the accuracy of alignment. In addition, these processes are simultaneously performed, improving the throughput of the operation. Further, there is no error due to the air fluctuation of the optical path of the interferometers because the reference mark plate 6 is applied that is capable of measuring the reference marks at the same time in the non-scanning direction (X direction).

[0102]

However, the reference mark plate 6 moves stepwise in the scanning direction and there may be an effect of the air fluctuation. With this respect, the position of the wafer stage (Z θ -axis driving stage 4 or the like) is locked to check the reticle alignment and the base line amount by using the output values of the photosensitive devices 55X and 55Y in processing with the LIA optical system 52 in FIG. 13 for checking the base line amount. This minimizes the effect of the air fluctuation. In addition, the reticle marks in this embodiment are arranged at eight positions on the four corners of the reticle 12. This is because the parameters R_x , R_y , θ and ω are necessary as well as the offsets to check the relationship between the reticle coordinate system and the wafer coordinate system and thus it is more advantageous to determine the parameters R_y , θ and ω with the marks arranged at four corners. Further, that is because, when the reference mark plate 6 used is a light emitting type, it is difficult to emit light from entire surface on the reference mark plate 6 due to limitation on a light emitting portion.

[0103]

In addition, let the number of the reticle marks on the reticle 12 be n , then the offset parameters O_x and O_y are averaged into $1/n^{1/2}$, and errors in the other parameters become small. Accordingly, the more the number n of the reticle marks, the smaller the error is. A simulation result on the relationship among the number n of the reticle marks, the error in the parameters and the error in the base line amount is set forth below. In the following, distribution at four corners on the fresh coordinate

system of (Equation 11) is represented as three times as large as a standard deviation σ with a unit of [nm].

[0104]

[Table 1]

Table 1

Number n of Reticle Marks	Error RX,Ry, θ, ω	in	Error Line in Base Amount		
Axis of Coordinates	X	Y	X	Y	Worse Square Sum
4	9.59	10.96	8.8	7.2	16.00
8	7.10	7.92	6.2	5.1	9.43
12	5.86	6.48	5.1	4.2	7.77
16	5.03	5.80	4.4	3.6	6.83

[0105]

It is revealed from the above that the number n of the reticle marks being equal to eight makes it possible to ensure the check accuracy on the base line amount and the reticle alignment of 10 nm or less even when the reticle writing error is 50 nm and the stepping error of the stage is 10 nm. In other words, the higher accuracy may be achieved by means of increasing the number n of the reticle marks with the processing speed increased within the limitation of the reference mark plate 6 of the light emitting type.

[0106]

In such a case, a patterning error on the reference mark plate 6 and a distortion error of the projection optical system 8 are left as the errors in the fresh coordinate system. However, there is no trouble at all when exposure results are compared with reference data in adjusting the device and the errors obtained are eliminated as system offsets because these errors are hardly fluctuated. In the above mentioned embodiment, on the reference mark plate 6 provided are a plurality of reference marks 35A, 35B, 35C and 35D and a plurality of reference marks 37A, 37B, 37C and 37D as shown in FIG. 8C. However, the corresponding relationship between the reticle coordinate system and the wafer coordinate system may be obtained by means of, for example, scanning only the reticle 12 by using a single reference mark 35A and a single reference mark 37A, thereby averaging the measured results. This approach also contributes to reduce the effect of the writing error of the patterns on the reticle 12.

[0107]

Next, a second embodiment of the present invention is described in conjunction with flow charts illustrated in FIGs. 15A, 15B and 16. As for this, the

reticle alignment mode in the above mentioned first embodiment is performed on the fine reticle alignment using four pairs of fine alignment marks 29A, 29B, 29C, 29D, 30A, 30B, 30C and 30D on the reticle. However, a single pair of fine alignment marks may be used for the reticle alignment or the base line measurement after the reticle alignment is once performed finely by means of the method described in the first embodiment if the scaling error in the scanning direction or the parallelism between the reticle coordinate system and the wafer coordinate system of the scanning direction are small. Such an alignment mode for measuring on three items: measuring a magnification (R_x) in the non-scanning direction, measuring rotation (θ) and measuring the base line using the single pair of alignment mark is referred to as a quick mode. The quick mode can be applied though a writing error of fine alignment marks 29A to 30D on reticle 12 is small.

[0108]

In this quick mode, a measurement of three items: measuring a magnification (R_x) in the non-scanning direction, measuring rotation (θ) and measuring the base line using a pair of fine alignment marks 29A, 30A on reticle 12 and a pair of reference marks 35A, 36A on reference mark substrate 6, and one reference mark 37A on reference mark plate 6 is performed. In this quick mode, it is necessary to store the writing error between the marks 29A and 30A obtained in the fine alignment sequence to correct the writing error between the fine alignment marks 29A and 30A.

[0109]

Operation of this second embodiment is described with reference to FIGs. 15A, 15B and 16. Operation in FIGs. 15A, 15B and 16 is the operation of FIGs. 2A and 2B with the addition of the quick mode, in which switching between the fine mode and the quick mode can be available. At steps in FIGs. 15A and 15B, steps corresponding to those in FIGs. 2A and 2B are indicated by like reference numerals, and detailed description thereof will be omitted.

[0110]

In FIGs. 15A and 15B, at steps 101 through 104, the reticle 12 is mounted on the reticle holder and positions of the rough searching alignment marks 27 and 28 are detected through the RA microscopes 19 and 20, respectively, as in the case of FIGs. 2A and 2B. Subsequently, either one of the fine mode or the quick mode is selected at step 115. The selected result is previously indicated by an operator through the keyboard 22C in FIG. 1. It is noted that pattern information or the like on the reticle 12 may be read by using a bar-code reader or the like which is not shown, according to which the main control system 22A may automatically select the fine alignment mode.

[0111]

When the fine mode is selected, steps 105 through 113 in FIG. 15 are executed and the base line measurement is performed as described above by using measured result on the reticle alignment and the fine alignment using a plurality of fine alignment marks and a plurality of reference marks. At step 114, obtained is the writing error (hereinafter, referred to as "mark error") between the positions of the actual fine alignment marks 29A and 30A relative to the target positions on the fresh coordinate system on the reticle 12. The mark error is memorized in a memorizing unit in the main control system 22A. In calculating the mark error, the reticle coordinate system is obtained with the wafer coordinate system used as the reference according to the relationship (conversion parameters) obtained at step 113. On this reticle coordinate system, the nonlinear error is obtained on the measured coordinate values relative to the coordinate values in design on the fine alignment marks 29A, 29B, 29C, 29D, 30A, 30B, 30C and 30D. This nonlinear error corresponds to the mark error. In this way, the mark error on the fresh coordinate system on the reticle is memorized according to the results obtained at steps 112 and 113 during the fine alignment. In addition, if the reticle writing error is previously measured, an operator may enter the writing error directly. When the writing error comprises a linear component, this becomes more advantageous.

[0112]

On the other hand, if the quick mode is selected at the step 115, operation proceeds to step 116 in FIG. 16. At steps 116 through 118, the same operation is executed as in the steps 105 through 107 in FIG. 15. More specifically, in a quick mode, images of a pair of fine alignment marks 30A and 29A on the reticle 12 and a pair of reference marks 36A and 35A on reference mark plate 6 are observed through the RA microscopes to detect a single reference mark 37A by using the alignment device 34 of the off-axis type. In addition, at later half of step 119, the positions of the marks observed through the RA microscope and the mark detected by the alignment device 34 of the off-axis type are obtained. Subsequently, at step S119, the mark error obtained at step 114 in FIG. 15 is corrected relative to the position detected on the fine alignment marks 30A and 29A on the reticle 12. As a result, the writing error of the patterns on the reticle 12 can be corrected or compensated to the similar degree to the case of the fine alignment mode in the first embodiment even if the number of the marks measured in the quick mode is small.

[0113]

Next, at step 120, the magnification error R_x in the non-scanning direction, the rotation θ and the offsets O_x , O_y are obtained of six conversion parameters (R_x , R_y , θ , ω , O_x , O_y) in Equation 9 according to the position of each mark obtained as a result of correction at the step 119. More specifically, as shown in FIGs. 8A and 8C, the magnification error R_x in the non-scanning direction is obtained from the

difference between the distance between the marks in the X direction (non-scanning direction) of the measured reference marks 35A and 36A and the distance between the mark images 29AW and 30AW in the X direction. In addition, the rotation θ is obtained from a difference between a displacement between the reference marks 35A and 36A in the Y direction (scanning direction) and a displacement between the mark images 29AW and 30AW in the Y direction and the mark distance. The offsets O_x , O_y can be given according to a mean displacement between the mark images of the reference mark and the reticle mark.

[0114]

In the quick mode, the number of marks to be measured is two by each at the reticle side and the reference mark plate 6 side, so that only four out of six conversion parameters in Equation 9 are determined. The four conversion parameters are thus obtained as mentioned above. A scaling error R_y in the scanning direction may be obtained by means of selecting, as the marks to be measured, two fine alignment marks 29A and 29D aligned in the Y direction in FIGs. 4A to 4C and two reference marks 35A and 35D in FIG. 8C.

[0115]

The reticle alignment is performed according to the magnification error R_x in the non-scanning direction, the rotation θ and the offsets O_x and O_y obtained at the step 120. The measurement of the magnification error R_x may be made by means of preparing as a table the magnification error R_x corresponding to the difference in the measured values on the marks from the designed values, thereby the magnification error R_x may be obtained with the difference between the measured values on the marks and the designed values on the marks being applied to the table.

[0116]

Next, at step 121, the base line measurement is performed by using the measured values on the central coordinate of the reference marks 35A and 36A as well as the measured value on the reference mark 37A. In this way, according to this embodiment, when the fine alignment mode is once performed to obtain the writing error (mark error) on the patterns of the reticle 12 and then the alignment is performed at the quick mode, the error is corrected, so that the alignment of the projection type exposure apparatus of the slit scanning type can be made at a high throughput and with a high accuracy.

[0117]

Next, a third embodiment of the present invention is described in conjunction with a flow chart illustrated in FIG. 17. This third embodiment is a case where the reticle alignment and the base line measurement are performed in the above mentioned quick mode for every one replacement of a predetermined number of wafers, i.e., for every exposure of the predetermined number of wafers. In this

embodiment, described with reference to FIG. 17 is an exemplified operation in a case where the reticle is exchanged in the projection type exposure apparatus in FIG. 1, following which the patterns of the reticle 12 are successively exposed on the wafers of which number is equal to, for example, 100.

[0118]

First, at step 211 in FIG. 17, the previously used reticle is replaced by the reticle 12 in FIG. 1 for starting the exposing operation. In such a case, the reticle alignment and base line check operations are performed in the quick mode that are similar to those illustrated at steps 101 through 104 and 115 in FIG. 15A and steps 116 through 121 in FIG. 16. Thereafter, the number of wafers to be exposed until the next reticle alignment and the base line check is set as an initial value of a variable N at step 212. At step 213, the wafer is loaded on the wafer stage 4. When there is any wafer already exposed at step 213, the exposed wafer is first unloaded (discharge) and then a new wafer is loaded.

[0119]

Subsequently, at step 214, it is determined whether the variable N is equal to zero, i.e., whether the reticle alignment and the base line check should be performed at that timing. If the variable N is larger than zero, one is subtracted from the variable N at step 215 to proceed to step 216. At the step 216, the wafer is aligned by using the alignment device 34 of the off-axis type shown in FIG. 13 or the alignment system of the TTL type, following which the patterns of the reticle 12 are exposed on each shot of the wafer. After completion of exposure of all (designated number of) wafers, the exposing process on that reticle 12 is ended. If there are one or more wafers left unexposed, the step 213 is again executed to unload the exposed wafer and load a new wafer. This step is followed by the step 214.

[0120]

If the variable N is equal to zero, i.e., whether the reticle alignment and the base line check should be performed at that timing at the step 214, the rotation error and the magnification error of the reticle 12 are measured at step 217. This corresponds to the step 120 in FIG. 16. Subsequently, step 218 is carried out to perform the base line check in the X and Y directions of the alignment device 34 of the off-axis type (the alignment system comprising the FIA optical system 48 or the wafer alignment system of a two-beam interference alignment type comprising the LIA optical system 52). Thereafter, the number of the wafers to be exposed until the next base line check is set as the variable N at step 219, which returns the operation to the step 216.

[0121]

As mentioned above, according to this invention, the reticle alignment and the base line measurement are performed for every replacement of the reticle, and the

reticle alignment and the base line measurement are performed in the quick mode for every exposure of the predetermined number of wafers. Accordingly, it is possible to increase an overlay accuracy between the images of the wafer and the reticle at a high throughput.

[0122]

While the technique in the above mentioned embodiment has thus been described in conjunction with the base line measurement with the alignment device of the off-axis type used, equivalent effects can be obtained by applying the present invention to a TTL (through the lens) type using within the field of the projection optical system. It should be understood that the present invention is not limited to the particular embodiment shown and described above, and various changes and modifications may be made without departing from the spirit and scope of the appended claims.

[0123]

Effects of the Invention

According to the exposure method of the first aspect, it is possible to reduce an effect of the writing error of the measuring marks on the mask by means of obtaining a parameter (such as the magnification, scaling in the scanning direction, rotation, degree of parallelism in the scanning direction, and offsets in an X direction and a Y direction) for use in aligning the mask coordinate system with the substrate coordinate system by using the least square approximation by means of eventually matching the displacement amount obtained, for example, at each position of the plurality of measuring marks on the mask.

[0124]

According to the projection exposure apparatus of the second aspect, it is possible to measure accurately the base line amount of the distance between the reference point of the projection optical system (8) and the reference point of the alignment system (34) by means of reducing the writing error of the measuring marks on the mask (12) by averaging a measurement result with reference to a plurality of measuring marks of mask (12). According to the projection exposure apparatus of the third aspect, a plurality of first reference marks (35A to 35D) are formed on a reference mark member (6) which are correspondent with the plurality of measuring marks (29A to 29D), respectively, on the mask (12). In addition, a plurality of second reference marks (37A to 37D) are formed at such a distance that corresponds to the distance between the reference point within the exposing field of the projection optical system (8) and the reference point of the alignment system (34) of off-axis type from the plurality of first reference marks (35A to 35D). Accordingly, the base line amount can be measured more accurately because the balancing is made across the reference marks.

[0125]

According to the exposure method of the fourth aspect, by selecting a simple measuring process based on a quick mode, the corresponding relationship between the coordinate system on the mask and the coordinate system on the stage can be calculated in cases when a higher throughput is required. According to the fifth exposure method, by selecting a simple measuring process based on a quick mode, the corresponding relationship between the coordinate system on the mask and the coordinate system on the stage as well as base line amount can be calculated in cases when a higher throughput is required.

[0126]

According to the exposure method of the sixth aspect, each time when exposing a predetermined number of sheets of the substrate (5), by performing a simple measuring process based on quick mode, when many substrates are exposed continuously with such a scanning method, the corresponding relationship between the coordinate system on the mask and the coordinate system on the stage as well as the base line amount can be calculated at high throughput.

Brief Description of the Drawings

FIG. 1

FIG. 1 is a structural diagram showing a projection type exposure apparatus to which an embodiment of a projection exposure method according to the present invention is applicable;

FIG. 2

FIG. 2 shows FIGs. 2A and 2B as flow charts illustrating an alignment method and a base line amount checking method according to a first embodiment of the present invention;

FIG. 3

FIG. 3 is a perspective view showing a reticle loader system;

FIG. 4

FIG. 4A is a describing an arrangement of alignment marks on a reticle; FIG. 4B is a view for use in describing an arrangement of alignment marks or the like in an area conjugated with an effective field of a projection optical system; FIG. 4C is an enlarged view of fine alignment marks 29A, 29B, 29C, 29D, 30A, 30B, 30C and 30D;

FIG. 5

FIG. 5A is a view for use in describing how to align a reticle roughly; FIG. 5B is a view showing a reduced version of FIG. 5A;

FIG. 6

FIGs. 6A, 6B, 6C, 6D, 6E and 6F are views showing waveforms of image pick-up signals obtained from an image pick-up device during a rough alignment of the reticle;

FIG. 7

FIG. 7A is a plan view of a stage at a wafer side; FIG. 7B is a plan view of a stage at a reticle side;

FIG. 8

FIG. 8A is a projection view showing arrangement of marks on the reticle; FIG. 8B is an enlarged projection view showing an example of marks on the reticle; FIG. 8C is a plan view showing arrangement of the reference marks on a reference mark plate 6; FIG. 8D is an enlarged view showing an example of a reference mark 35A or the like; FIG. 8E is a plan view showing an example of a reference mark 37A or the like;

FIG. 9

FIG. 9 is a plan view for use in describing relationship among the reference mark plate, the reticle, the projection optical system and the alignment device during measurement of reticle alignment and a base line amount;

FIG. 10

FIG. 10 is a view showing error vectors obtained by means of measuring the reticle alignment and the base line amount;

FIG. 11

FIG. 11 is a partially cutaway structural diagram showing structure of a reticle alignment microscope 19 and an illumination system;

FIG. 12

FIG. 12A is a view showing an image observed through the image pick-up device in FIG. 11; FIGs. 12B and 12C are views showing waveforms indicative of image signals in an X direction and a Y direction corresponding to the image shown in FIG. 12A;

FIG. 13

FIG. 13 is a structural diagram showing an alignment device 34 of an off-axis type;

FIG. 14

FIG. 14A is a view showing an image observed through the image pick-up device in FIG. 13; FIGs. 14B and 14C are views showing waveforms indicative of image signals in an X direction and a Y direction corresponding to the image shown in FIG. 14A; FIGs. 14D and 14E are views showing detection signals obtained through an LIA optical system shown in FIG. 13;

FIG. 15

FIG. 15 is comprised of FIGs. 15A and 15B showing flow charts illustrating a part of operation of an alignment method and a base line amount check method according to a second embodiment;

FIG. 16

FIG. 16 is a flow chart illustrating a remaining part of the operation of the alignment method and the base line amount check method according to the second embodiment;

FIG. 17

FIG. 17 is a flow chart illustrating operation of an exposure method according to a third embodiment; and

FIG. 18

FIG. 18 is a partially structural diagram showing an alignment system of the conventional stepper.

Description of Symbols

- 4 Z θ -axis driving stage
- 5 wafer
- 6 substrate mark plate
- 7 movable mirror of wafer side
- 8 projection optical system
- 11 reticle fine driving stage
- 12 reticle
- 19, 20 Reticle alignment microscopes (RA microscope)
- 21 movable mirror of reticle side
- 27, 28 rough searching alignment marks
- 29A to 29D, 30A to 30D fine alignment marks
- 34 alignment device of the off-axis type
- 35A to 35D, 36A to 36D reference marks
- 37A to 37D reference marks

FIG. 1

22A: MAIN CONTROL SYSTEM

FIG. 2

START

101: PERFORM RETICLE PREALIGNMENT BASED ON EXTERNAL FORM REFERENCE ON RETICLE LOADER

102: CONVEY RETICLE ONTO RETICLE HOLDER BY RETICLE LOADER

103: DETECT ALIGNMENT MARK 28 FOR ROUGH SEARCH BY RA MICROSCOPE 20

104: DETECT ALIGNMENT MARK 27 FOR ROUGH SEARCH BY RA MICROSCOPE 19

105: CALCULATE POSITION AND ROTATION OF RETICLE AND RA MICROSCOPE ON THE BASIS OF RESULTS OF STEPS 103, 104 TO MOVE RETICLE MARKS 30A, 29A UNDER RA MICROSCOPE

106: MOVE REFERENCE MARKS 36A, 35A UNDER RA MICROSCOPE

107: SAMPLE IMAGE SIGNALS OF RESPECTIVE MARKS BY RA MICROSCOPE, SAMPLE DETECTION SIGNALS OF RESPECTIVE MARKS BY ALIGNMENT DEVICE 34, AND SAMPLE SIMULTANEOUSLY MEASUREMENT VALUES OF INTERFEROMETERS 13, 14

108: PERFORM OPERATIONS OF STEPS 105~107 WITH RESPECT TO RETICLE MARKS 30B, 29B AND REFERENCE MARKS 36B, 35B IN THE SAME MANNER

109: PERFORM OPERATIONS OF STEPS 105~107 WITH RESPECT TO RETICLE MARKS 30C, 29C AND REFERENCE MARKS 36C, 35C IN THE SAME MANNER

110: PERFORM OPERATIONS OF STEPS 105~107 WITH RESPECT TO RETICLE MARKS 30D, 29D AND REFERENCE MARKS 36D, 35D IN THE SAME MANNER

111: PERFORM APPROXIMATE PROCESS OF MEASUREMENT RESULTS OBTAINED IN STEPS 107~110 BY USING METHOD OF LEAST SQUARES TO OBTAIN PARAMETERS OF TWO-WAY MAGNIFICATION, ROTATION, ORTHOGONAL DEGREE AND TWO-WAY OFFSET

112: OBTAIN DIFFERENCE BETWEEN TWO-WAY OFFSET OF STEP 111 AND MEAN OFFSET VALUE OF MEASUREMENT VALUES OF ALIGNMENT DEVICE 34

113: CALCULATE RELATIONSHIP BETWEEN RETICLE COORDINATE SYSTEM AND WAFER COORDINATE SYSTEM ON THE BASIS OF THE

RESULTS OF STEP 111 TO OBTAIN BASE LINE VALUE ON THE BASIS OF
THE RESULT OF STEPS 112
END

FIG. 4A
SCANNING DIRECTION

FIG. 11
41: SIGNAL PROCESSING DEVICE

FIG. 13
56: SIGNAL PROCESSING DEVICE

FIG. 15
START
101: PERFORM RETICLE PREALIGNMENT BASED ON EXTERNAL FORM
REFERENCE ON RETICLE LOADER
102: CONVEY RETICLE ONTO RETICLE HOLDER BY RETICLE LOADER
103: DETECT ALIGNMENT MARK 28 FOR ROUGH SEARCH BY RA
MICROSCOPE 20
104: DETECT ALIGNMENT MARK 27 FOR ROUGH SEARCH BY RA
MICROSCOPE 19
105: CALCULATE POSITION AND ROTATION OF RETICLE AND RA
MICROSCOPE ON THE BASIS OF RESULTS OF STEPS 103, 104 TO MOVE
RETICLE MARKS 30A, 29A UNDER RA MICROSCOPE
106: MOVE REFERENCE MARKS 36A, 35A UNDER RA MICROSCOPE
107: SAMPLE IMAGE SIGNALS OF RESPECTIVE MARKS BY RA
MICROSCOPE, SAMPLE DETECTION SIGNALS OF RESPECTIVE MARKS BY
ALIGNMENT DEVICE 34, AND SAMPLE SIMULTANEOUSLY
MEASUREMENT VALUES OF INTERFEROMETERS 13, 14
108: PERFORM OPERATIONS OF STEPS 105~107 WITH RESPECT TO
RETICLE MARKS 30B, 29B AND REFERENCE MARKS 36B, 35B IN THE
SAME MANNER
109: PERFORM OPERATIONS OF STEPS 105~107 WITH RESPECT TO
RETICLE MARKS 30C, 29C AND REFERENCE MARKS 36C, 35C IN THE
SAME MANNER
110: PERFORM OPERATIONS OF STEPS 105~107 WITH RESPECT TO
RETICLE MARKS 30D, 29D AND REFERENCE MARKS 36D, 35D IN THE
SAME MANNER

111: PERFORM APPROXIMATE PROCESS OF MEASUREMENT RESULTS .
OBTAINED IN STEPS 107~110 BY USING METHOD OF LEAST SQUARES TO
OBTAIN PARAMETERS OF TWO-WAY MAGNIFICATION, ROTATION,
ORTHOGONAL DEGREE AND TWO-WAY OFFSET
112: OBTAIN DIFFERENCE BETWEEN TWO-WAY OFFSET OF STEP 111 AND
MEAN OFFSET VALUE OF MEASUREMENT VALUES OF ALIGNMENT
DEVICE 34
113: CALCULATE RELATIONSHIP BETWEEN RETICLE COORDINATE
SYSTEM AND WAFER COORDINATE SYSTEM ON THE BASIS OF THE
RESULTS OF STEP 111 TO OBTAIN BASE LINE VALUE ON THE BASIS OF
THE RESULT OF STEPS 112
114: STORE MARK ERROR
END

FIG. 16

FROM STEP 115

116: CALCULATE POSITION AND ROTATION OF RETICLE AND RA
MICROSCOPE ON THE BASIS OF RESULTS OF STEPS 103, 104 TO MOVE
RETICLE MARKS 30A, 29A UNDER RA MICROSCOPE
117: MOVE REFERENCE MARKS 36A, 35A UNDER RA MICROSCOPE
118: SAMPLE EACH MARK SIGNAL TO OBTAIN POSITION OF EACH MARK
119: COMPENSATE MARK ERROR
120: OBTAIN MAGNIFICATION IN NON-SCANNING DIRECTION, ROTATION
AND OFFSET ON THE BASIS OF THE COMPENSATED RESULT IN STEP 119
121: MEASURE BASE LINE
END

FIG. 17

211: EXPOSURE SEQUENCE START
212: INITIALIZE N
213: LOAD(UNLOAD) WAFER
217: MEASURE MAGNIFICATION AND ROTATION OF RETICLE
218: CHECK STATIONARY BASE LINE (X,Y)
216: WAFER ALIGNMENT-EXPOSURE
LESS THAN DESIGNATED NUMBER OF FRAMES
DESIGNATED NUMBER OF FRAMES
END

Continued from front page

(51) Int. Cl. ⁶	Identification Symbol	Office Reference Number	FI	Technical indication location
G03F 9/00		H		

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-176468

(43) 公開日 平成7年(1995)7月14日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 B 27/32	F			
G 0 3 F 7/20	5 2 1			
		7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	5 2 5 C
		7352-4M		5 2 0 A
審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 26 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平5-334759

(22) 出願日 平成5年(1993)12月28日

(31) 優先権主張番号 特願平5-38077

(32) 優先日 平5(1993)2月26日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 西 健爾

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

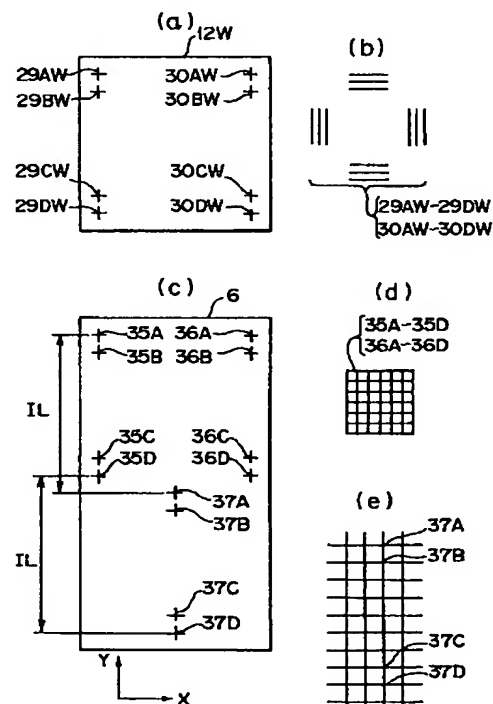
(74) 代理人 弁理士 大森 聡

(54) 【発明の名称】 投影露光方法

(57) 【要約】

【目的】 スリットスキャン方式で露光する際に、レチクルの描画誤差の影響を低減させて、レチクル座標系とウエハ座標系との対応付けを正確に行う。

【構成】 レチクルの投影像 12W 上に、走査方向に2列のアライメントマーク像 29AW~29DW 及び 30AW~30DW が投影され、ウエハステージ側の基準マーク板 6 上にも走査方向に2列の基準マーク 35A~35D 及び 36A~36D が形成されている。レチクル及び基準マーク板 6 を走査方向に移動して、レチクルアライメント顕微鏡により、マーク像 29AW, 30AW と基準マーク 35A, 36A との誤差を求め、同様に他のマーク像と基準マークとの誤差を求め、それらの誤差に座標計測系の計測誤差の補正を行って、レチクル座標系とウエハ座標系との間の変換パラメータを求める。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 照明光で所定形状の照明領域を照明し、前記所定形状の照明領域内のマスク上のパターン像を投影光学系を介してステージ上の基板に露光し、前記所定形状の照明領域に対して相対的に前記マスク及び前記基板を同期して走査することにより、前記マスク上の前記所定形状の照明領域よりも広い面積のパターン像を前記基板上に露光する方法において、

前記マスク上に前記相対的な走査の方向に複数の計測用マークを形成し、該複数の計測用マークとほぼ共役な位置に複数の基準マークが形成された基準マーク部材を前記ステージ上に配置し、

前記マスク及び前記基板を前記相対的な走査の方向に同期して移動させて、前記マスク上の複数の計測用マークの内の1つの計測用マークと前記ステージ上の対応する基準マークとの位置ずれ量を順次計測し、

前記複数の計測用マークと前記複数の基準マークとのそれぞれの位置ずれ量より、前記マスク上の座標系と前記ステージ上の座標系との対応関係を求めることを特徴とする投影露光方法。

【請求項2】 照明光で所定形状の照明領域を照明し、前記所定形状の照明領域内のマスク上のパターン像を投影光学系を介してステージ上の基板に露光し、前記所定形状の照明領域に対して相対的に前記マスク及び前記基板を同期して走査することにより、前記マスク上の前記所定形状の照明領域よりも広い面積のパターン像を前記基板上に露光する方法において、

前記投影光学系の近傍に前記基板上の位置決め用のマークの位置を検出するためのオフ・アクシス方式のアライメント系を配置し、前記マスク上に前記相対的な走査の方向に複数の計測用マークを形成し、前記投影光学系の露光フィールド内の基準点と前記オフ・アクシス方式のアライメント系の基準点との間隔に対応する間隔で第1及び第2の基準マークが形成された基準マーク部材を前記ステージ上に配置し、

前記オフ・アクシス方式のアライメント系で前記基準部材上の前記第2の基準マークを観察した状態で、前記マスクを前記相対的な走査の方向に移動させて、前記マスク上の複数の計測用マークの内の1つの計測用マークと前記ステージ上の前記第1の基準マークとの位置ずれ量を順次計測し、

前記複数の計測用マークと前記第1の基準マークとのそれぞれの位置ずれ量の平均値及び前記オフ・アクシス方式のアライメント系で観察した前記第2の基準マークの位置ずれ量より、前記投影光学系の露光フィールド内の基準点と前記オフ・アクシス方式のアライメント系の基準点との間隔を求めることを特徴とする投影露光方法。

【請求項3】 前記基準マーク部材上に、前記マスク上の複数の計測用マークに対応させて前記第1の基準マークを複数個形成すると共に、該複数の第1の基準マーク

からそれぞれ前記投影光学系の露光フィールド内の基準点と前記オフ・アクシス方式のアライメント系の基準点との間隔に対応する間隔で前記第2の基準マークを複数個形成し、

前記マスク及び前記ステージを前記相対的な走査の方向に同期して移動させて、前記マスク上の複数の計測用マークの内の1つの計測用マークと前記ステージ上の対応する前記第1の基準マークとの位置ずれ量を順次計測すると共に、前記オフ・アクシス方式のアライメント系で複数の前記第2の基準マークの内の対応する基準マークを観察し、

前記複数の計測用マークと前記複数の第1の基準マークとのそれぞれの位置ずれ量の平均値及び前記オフ・アクシス方式のアライメント系で観察した前記複数の第2の基準マークの位置ずれ量の平均値より、前記投影光学系の露光フィールド内の基準点と前記オフ・アクシス方式のアライメント系の基準点との間隔を求めることを特徴とする請求項2記載の投影露光方法。

【請求項4】 照明光で所定形状の照明領域を照明し、前記所定形状の照明領域内のマスク上のパターン像を投影光学系を介してステージ上の基板に露光し、前記所定形状の照明領域に対して相対的に前記マスク及び前記基板を同期して走査することにより、前記マスク上の前記所定形状の照明領域よりも広い面積のパターン像を前記基板上に露光する方法において、

前記マスク上に前記相対的な走査の方向に複数の計測用マークを形成し、該複数の計測用マークとほぼ共役な位置に複数の基準マークが形成された基準マーク部材を前記ステージ上に配置し、

前記マスク及び前記基板を前記相対的な走査の方向に同期して移動させて、前記マスク上の複数の計測用マークの内の1つの計測用マークと前記ステージ上の対応する基準マークとの位置ずれ量を順次計測し、前記計測用マークと前記基準マークとのそれぞれの位置ずれ量を求める第1工程と；前記マスク上の複数の計測用マークの内の所定の1つの計測用マークと前記ステージ上の対応する基準マークとの位置ずれ量を1回だけ計測し、前記計測用マークと前記基準マークとの位置ずれ量を求める第2工程と；前記第1工程と前記第2工程とのどちらか一方を選択し、選択された工程で求められた前記計測用マークと前記基準マークとのそれぞれの位置ずれ量に基づいて前記マスク上の座標系と前記ステージ上の座標系との対応関係を求める第3工程と；を有することを特徴とする投影露光方法。

【請求項5】 照明光で所定形状の照明領域を照明し、前記所定形状の照明領域内のマスク上のパターン像を投影光学系を介してステージ上の基板に露光し、前記所定形状の照明領域に対して相対的に前記マスク及び前記基板を同期して走査することにより、前記マスク上の前記所定形状の照明領域よりも広い面積のパターン像を前記

基板上に露光する方法において、前記投影光学系の近傍に前記基板上の位置決め用のマークの位置を検出するためのオフ・アクシス方式のアライメント系を配置し、前記マスク上に前記相対的な走査の方向に複数の計測用マークを形成し、該複数の計測用マークとほぼ共役な位置に複数の基準マークが形成された基準マーク部材を前記ステージ上に配置し、該複数の基準マークは前記投影光学系の基準点と前記オフ・アクシス方式のアライメント系の基準点との間隔に対応する間隔で配置された第1及び第2の基準マークからなり、前記オフ・アクシス方式のアライメント系で前記基準マーク部材上の前記第2の基準マークを観察した状態で、前記マスクを前記相対的な走査の方向に移動させて、前記マスク上の複数の計測用マークの内の1つの計測用マークと前記第1の基準マークとの位置ずれ量を順次計測する第1工程と；前記オフ・アクシス方式のアライメント系で前記基準マーク部材上の前記第2の基準マークを観察した状態で、前記マスク上の複数の計測用マークの内の所定の1つの計測用マークと前記第1の基準マークとの位置ずれ量を計測する第2工程と；前記第1工程と前記第2工程とのどちらか一方を選択する第3工程と；該第3工程で選択された工程での計測結果である、前記計測用マークと前記基準マークとのそれぞれの位置ずれ量、及び前記オフ・アクシス方式のアライメント系で観察した前記第2の基準マークの位置ずれ量より、前記マスク上の座標系と前記ステージ上の座標系との対応関係と、前記投影光学系の露光フィールド内の基準点と前記オフ・アクシス方式のアライメント系の基準点との間隔を求める第4工程と；を有することを特徴とする投影露光方法。

【請求項6】 照明光で所定形状の照明領域を照明し、前記所定形状の照明領域内のマスク上のパターン像を投影光学系を介してステージ上の基板に露光し、前記所定形状の照明領域に対して相対的に前記マスク及び前記基板を同期して走査することにより、前記マスク上の前記所定形状の照明領域よりも広い面積のパターン像を前記基板上に露光する方法において、前記投影光学系の近傍に前記基板上の位置決め用のマークの位置を検出するためのオフ・アクシス方式のアライメント系を配置し、前記マスク上に前記相対的な走査の方向に複数の計測用マークを形成し、該複数の計測用マークとほぼ共役な位置に複数の基準マークが形成された基準マーク部材を前記ステージ上に配置し、該複数の基準マークは前記投影光学系の基準点と前記オフ・アクシス方式のアライメント系の基準点との間隔に対応する間隔で形成された第1及び第2の基準マークからなり、前記基板を所定枚数交換する毎に、前記オフ・アクシス方式のアライメント系で前記基準マ

ーク部材上の前記第2の基準マークを観察した状態で、前記マスク上の複数の計測用マークの内の所定の1つの計測用マークと対応する前記第1の基準マークとの位置ずれ量を計測し、該計測された位置ずれ量、及び前記オフ・アクシス方式のアライメント系で観察した前記第2の基準マークの位置ずれ量より、前記マスク上の座標系と前記ステージ上の座標系との対応関係と、前記投影光学系の露光フィールド内の基準点と前記オフ・アクシス方式のアライメント系の基準点との間隔を求めることを特徴とする投影露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えばスリットスキャン露光方式の投影露光装置に適用して好適な投影露光方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子、液晶表示素子又は薄膜磁気ヘッド等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に、フォトマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターンを感光材が塗布された基板（ウエハ、ガラスプレート等）上に転写する投影露光装置が使用されている。従来の投影露光装置としては、ウエハの各ショット領域を順次投影光学系の露光フィールド内に移動させて、各ショット領域に順次レチクルのパターン像を露光するというステップ・アンド・リピート方式の縮小投影型露光装置（ステッパー）が多く使用されていた。

【0003】図18は従来のステッパーの要部を示し、この図18において、ウエハステージ4の上にウエハ5が載置され、このウエハ5の近傍のウエハステージ4上に基準マーク板57が固定されている。そして、図示省略された照明光学系からの露光光のもとで、レチクル12上のパターン像が投影光学系8を介してウエハ5上の各ショット領域に投影露光される。この際、ウエハステージ4はウエハ座標系に沿って駆動されるので、レチクル12のウエハ座標系上での位置及びレチクル12のウエハ座標系に対する回転角を計測しておく必要がある。そのために、レチクル12のパターン領域の近傍には対向するように2個のアライメントマーク（レチクルマーク）60R及び61Rが形成され、基準マーク板57上には、それらレチクルマーク60R及び61Rのウエハ5上での設計上の間隔と等しい間隔で2個の基準マーク60F及び61Fが形成されている。

【0004】また、レチクル12のレチクルマーク60R及び61Rの上にはそれぞれレチクルアライメント顕微鏡58及び59が配置されている。レチクルアライメント顕微鏡58及び59はそれぞれ、露光光と同じ波長のアライメント光を射出する照明光源と、レチクル12上のレチクルマークとウエハ5上のアライメントマーク（ウエハマーク）又は基準マーク板57上の基準マークとを同時に観察できるセンサーとを備えている。図18

のステッパーでウエハ5への露光を行う際には、順次ウエハステージ4のみをステップ・アンド・リピート方式で移動することによって、ウエハ5の各ショット領域にレチクル12上のパターンの像がそれぞれ露光される。

【0005】斯かるステッパーにおいて、前工程で形成されたウエハ5上の回路パターンの上に更にレチクル12のパターン像を露光するような場合には、ウエハ5上の各ショット領域の座標を規定するウエハ座標系と、レチクル12上のパターンの座標を規定するレチクル座標系との対応を取る（即ちアライメントを行う）必要がある。ステッパーの場合には、投影光学系8の露光フィールドとウエハ5上の1ショット領域の大きさが等しく、露光する際にレチクル12を駆動する必要がないため、ウエハ座標系とレチクル座標系の対応を以下のようにして取っていた。

【0006】即ち、ウエハステージ4を駆動して基準マーク57を投影光学系8の露光フィールド内に移動させた後、一方のレチクルアライメント顕微鏡58によってレチクルマーク60Rと基準マーク60Fとの位置ずれ量を検出し、他方のレチクルアライメント顕微鏡59によってレチクルマーク61Rと基準マーク61Fとの位置ずれ量を検出して、それら位置ずれ量からウエハ座標系上でのレチクル12のパターンの位置を求めている。更に、基準マーク60Fを基準マーク61Fの位置に移動して、レチクルアライメント顕微鏡59によってレチクルマーク61Rと基準マーク60Fとの位置ずれ量を検出することによって、ウエハ座標系上でのレチクル12の回転角を計測していた。そして、レチクル12又はウエハステージ4を回転させてその回転角を補正することによって、最終的にウエハ座標系とレチクル座標系との対応付けを行っていた。

【0007】また、図18においては、ウエハ5上の各ショット領域に対応して形成された各アライメントマーク（ウエハマーク）の位置を検出するために、投影光学系8の側面部にオフ・アクシス方式のアライメント顕微鏡34が設けられている。この場合、このアライメント顕微鏡34で検出されたウエハマークの位置に基づいて、対応するウエハ5上のショット領域が投影光学系8の露光フィールド内に設定される。従って、予め投影光学系8の露光フィールド内の基準点（例えば露光中心）と、オフ・アクシス方式のアライメント顕微鏡34の観察領域の基準点62との間隔である所謂ベースライン量を求めておく必要がある。

【0008】従来のステッパーにおいて、そのようなベースライン量を計測する際には、レチクルマーク60R、61Rと基準マーク60F、61Fの共役像との位置ずれ量を計測した後に、例えばベースライン量の設計値に等しい量だけウエハステージ4を移動させて、アライメント顕微鏡34によりその基準点62と基準マーク板57上の対応する基準マークとの位置ずれ量を計測し

ていた。それらの位置ずれ量からベースライン量が求められていた。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】近年、半導体素子等においてはパターンが微細化しているため、投影光学系の解像力を高めることが求められている。解像力を高めるための手法には、露光光の波長の短波長化、又は投影光学系の開口数の増大等の手法があるが、何れの手法を用いる場合でも、従来例と同じ程度の露光フィールドを確保しようすると、露光フィールドの全面で結像性能（ディストーション、像面湾曲等）を所定の精度に維持することが困難になってきている。そこで現在見直されているのが、所謂スリットスキャン露光方式の投影露光装置である。

【0010】このスリットスキャン露光方式の投影露光装置では、矩形又は円弧状等の照明領域（以下、「スリット状の照明領域」という）に対してレチクル及びウエハを相対的に同期して走査しながら、そのレチクルのパターンがウエハ上に露光される。従って、ステッパー方式と同じ面積のパターンをウエハ上に露光するとすれば、スリットスキャン露光方式では、ステッパー方式に比べて投影光学系の露光フィールドを小さくすることができ、露光フィールド内での結像性能の精度が向上する可能性がある。

【0011】また、従来のレチクルの大きさの主流は6インチサイズであり、投影光学系の投影倍率の主流は1/5倍であったが、半導体素子等の回路パターンの大面積化により、倍率1/5倍のもとでのレチクルの大きさは6インチサイズでは間に合わなくなっている。そのため、投影光学系の投影倍率を例えば1/4倍に変更した投影露光装置を設計する必要がある。そして、このような被転写パターンの大面積化に応えるためにも、スリットスキャン露光方式が有利である。

【0012】斯かるスリットスキャン露光方式の投影露光装置において、従来のステッパーで用いられていたレチクル座標系とウエハ座標系との対応付けの手法を適用すると、投影倍率が1/4倍になったことから、レチクル上の回路パターンの描画誤差によってアライメント精度が劣化するという不都合がある。更に、特願平3-169781号では、ステッパーにおいてウエハステージを移動させることなく、複数の計測用マークの位置ずれ量を同時に計測することにより、レチクルの回転角を計測する技術が提案されている。しかしながら、この複数の計測用マークの同時計測による回転角の計測という概念は、スリットスキャン露光方式の投影露光装置の走査方向には利用できず、レチクル座標系とウエハ座標系との回転角及びそれら座標系の座標直交度が精度よく計測できないという不都合があった。

【0013】また、投影光学系の露光フィールド内の基準位置と、オフ・アクシス方式のアライメント系の基準

位置との間隔であるベースライン量の計測方法に関して、従来のステッパーにおけるレチクル上の1箇所(2個の)のマークを用いる計測方法をそのままスリットスキャン露光方式の投影露光装置に適用したのでは、レチクルの描画誤差の影響を大きく受けるという不都合がある。

【0014】本発明は斯かる点に鑑み、スリットスキャン露光方式の投影露光装置において、レチクル(マスク)上のパターンの描画誤差の影響を低減させて、レチクル座標系(マスク座標系)とウエハ座標系(基板座標系)との対応付けを正確に行える投影露光方法を提供することを目的とする。これに関して、工程によってはその対応付けの正確さよりも迅速性が重視される場合がある。そこで、本発明はレチクル座標系(マスク座標系)とウエハ座標系(基板座標系)との対応付けを高いスループットで行う投影露光方法を提供することを目的とする。

【0015】更に、本発明は、スリットスキャン露光方式の投影露光装置において、レチクル(マスク)上のパターンの描画誤差の影響を低減させて、投影光学系の露光フィールドの基準点と、オフ・アクシス方式のアライメント系の基準点との間隔であるベースライン量の計測を高精度に行える投影露光方法を提供することをも目的とする。

【0016】また、例えばベースライン計測を所定枚数のウエハを交換する毎に行うような場合には、正確さよりも迅速性が重視されることがあると共に、同時にレチクル座標系(マスク座標系)とウエハ座標系(基板座標系)との対応付けを行うことが望ましい。そこで、本発明はベースライン量の計測を所定のウエハ交換回数毎に行う際、レチクル座標系(マスク座標系)とウエハ座標系(基板座標系)との対応付け、及びそのベースライン計測を高いスループットで行う投影露光方法を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の投影露光方法は、照明光で所定形状の照明領域を照明し、前記所定形状の照明領域内のマスク(12)上のパターン像を投影光学系(8)を介してステージ(4)上の基板(5)に露光し、その所定形状の照明領域に対して相対的にマスク(12)及び基板(5)を同期して走査することにより、マスク(12)上のその所定形状の照明領域よりも広い面積のパターン像を基板(5)上に露光する方法において、マスク(12)上にその相対的な走査の方向に複数の計測用マーク(29A~29D)を形成し、これら複数の計測用マークとほぼ共役な位置に複数の基準マーク(35A~35D)が形成された基準マーク部材(6)をステージ(4)上に配置し、マスク(12)及び基板(5)をその相対的な走査の方向に同期して移動させて、マスク(12)上の複数の計測用マーク

の内の1つの計測用マーク(29A, 29B, ...)とステージ(4)上の対応する基準マーク(35A, 35B, ...)との位置ずれ量を順次計測し、それら複数の計測用マークとそれら複数の基準マークとのそれぞれの位置ずれ量より、マスク(12)上の座標系とステージ(4)上の座標系との対応関係を求めるものである。

【0018】また、本発明による第2の投影露光方法は、上述の発明と同じ前提部において、投影光学系(8)の近傍に基板(5)上の位置決め用のマークの位置を検出するためのオフ・アクシス方式のアライメント系(34)を配置し、マスク(12)上にその相対的な走査の方向に複数の計測用マーク(29A~29D)を形成し、投影光学系(8)の露光フィールド内の基準点とオフ・アクシス方式のアライメント系(34)の基準点との間隔に対応する間隔で第1の基準マーク(35A)及び第2の基準マーク(37A)が形成された基準マーク部材(6)をステージ(4)上に配置する。

【0019】そして、オフ・アクシス方式のアライメント系(34)で基準部材(6)上の第2の基準マーク(37A)を観察した状態で、マスク(12)を前記相対的な走査の方向に移動させて、マスク(12)上の複数の計測用マークの内の1つの計測用マーク(29A, 29B, ...)とステージ(4)上の第1の基準マーク(35A)との位置ずれ量を順次計測し、それら複数の計測用マークとそれら第1の基準マークとのそれぞれの位置ずれ量の平均値及びオフ・アクシス方式のアライメント系(34)で観察したその第2の基準マークの位置ずれ量より、投影光学系(8)の露光フィールド内の基準点とオフ・アクシス方式のアライメント系(34)の基準点との間隔を求めるものである。

【0020】また、本発明の第3の投影露光方法は、その第2の投影露光方法において、基準マーク部材(6)上に、マスク(12)上の複数の計測用マーク(29A~29D)に対応させてその第1の基準マークを複数個(35A~35D)形成すると共に、これら複数の第1の基準マーク(35A~35D)からそれぞれ投影光学系(8)の露光フィールド内の基準点とオフ・アクシス方式のアライメント系(34)の基準点との間隔に対応する間隔でその第2の基準マークを複数個(37A~37D)形成し、マスク(12)及びステージ(4)をその相対的な走査の方向に同期して移動させて、マスク(12)上の複数の計測用マークの内の1つの計測用マーク(29A, 29B, ...)とステージ(4)上の対応する第1の基準マーク(35A, 35B, ...)との位置ずれ量を順次計測すると共に、オフ・アクシス方式のアライメント系(34)で複数の第2の基準マークの内の対応する基準マーク(37A, 37B, ...)を観察し、それら複数の計測用マークとそれら複数の第1の基準マークとのそれぞれの位置ずれ量の平均値及びオフ・アクシス方式のアライメント系(34)で観察したそ

れら複数の第2の基準マークの位置ずれ量の平均値より、投影光学系(8)の露光フィールド内の基準点とオフ・アクシス方式のアライメント系(34)の基準点との間隔を求めるものである。

【0021】次に、本発明の第4の投影露光方法は、上述の発明と同じ前提部において、上述の第1の投影露光方法と同様に、マスク(12)上の複数の計測用マーク(29A, 29B, ...)と対応する基準マーク(35A, 35B, ...)とのそれぞれの位置ずれ量を求める第1工程と；そのマスク上の複数の計測用マークの内の所定の1つの計測用マーク(29A)とそのステージ上の対応する基準マーク(35A)との位置ずれ量を1回だけ計測し、計測用マーク(29A)と基準マーク(35A)との位置ずれ量を簡易的に求める第2工程と；その第1工程とその第2工程とのどちらか一方を選択し、この選択された工程で求められたその計測用マークとその基準マークとのそれぞれの位置ずれ量に基づいてマスク(12)上の座標系とステージ(4)上の座標系との対応関係を求める第3工程と；を有するものである。

【0022】また、本発明の第5の投影露光方法は、上述の発明と同じ前提部において、上述の第2の投影露光方法と同様に、オフ・アクシス方式のアライメント系で基準マーク部材(6)上の第2の基準マーク(37A, 37B, ...)を観察した状態で、マスク(12)をその相対的な走査の方向に移動させて、マスク(12)上の複数の計測用マーク(29A, 29B, ...)の内の1つの計測用マークと第1の基準マーク(35A, 35B, ...)との位置ずれ量を順次計測する第1工程と；オフ・アクシス方式のアライメント系で基準マーク部材(6)上の第2の基準マーク(37A)を観察した状態で、マスク(12)上の複数の計測用マークの内の所定の1つの計測用マーク(29A)と第1の基準マーク(35A)との位置ずれ量を簡易的に計測する第2工程と；それら第1工程と第2工程とのどちらか一方を選択する第3工程と；この第3工程で選択された工程での計測結果である、その計測用マークとその基準マークとの位置ずれ量、及びそのオフ・アクシス方式のアライメント系で観察した第2の基準マークの位置ずれ量より、そのマスク上の座標系とそのステージ上の座標系との対応関係と、その投影光学系の露光フィールド内の基準点とそのオフ・アクシス方式のアライメント系の基準点との間隔(ベースライン量)を求める第4工程と；を有するものである。

【0023】また、本発明の第6の投影露光方法は、上述の発明と同じ前提部において、投影光学系(8)の近傍に基板(5)上の位置決め用のマークの位置を検出するためのオフ・アクシス方式のアライメント系(34)を配置し、マスク(12)上にその相対的な走査の方向に複数の計測用マーク(29A, 29B, ...)を形成し、これら複数の計測用マークとほぼ共役な位置に複数の

の基準マークが形成された基準マーク部材(6)をステージ(4)上に配置し、これら複数の基準マークはその投影光学系の基準点とそのオフ・アクシス方式のアライメント系の基準点との間隔に対応する間隔で形成された第1(35A, 35B, ...)及び第2(37A, 37B, ...)の基準マークからなり、基板(5)を所定枚数交換する毎に、そのオフ・アクシス方式のアライメント系で基準マーク部材(6)上の第2の基準マーク(37A)を観察した状態で、マスク(12)上の複数の計測用マークの内の所定の1つの計測用マーク(29A)と対応する第1の基準マーク(35A)との位置ずれ量を計測し、このように計測された位置ずれ量、及びそのオフ・アクシス方式のアライメント系で観察した第2の基準マーク(37A)の位置ずれ量より、そのマスク上の座標系とそのステージ上の座標系との対応関係と、その投影光学系の露光フィールド内の基準点とそのオフ・アクシス方式のアライメント系の基準点との間隔(ベースライン量)を求めるものである。

【0024】

【作用】斯かる本発明の第1の投影露光方法に於いては、マスク(12)上に複数の計測用マークを配置し、それらの計測用マークとほぼ共役な基準マークを基準マーク部材(6)上に配置し、マスク(12)及びステージ(4)をステッピング方式で送りながら、それぞれのマークの位置ずれが計測される。そして、最終的に、例えば各位置で求められた位置ずれに合わせて、最小自乗近似等によって、マスク座標系と基板座標系とを対応付けるパラメータ(倍率、走査方向のスケーリング、回転、走査方向の平行度、X方向及びY方向のオフセット)を求めることにより、マスク(12)上の計測用マークの描画誤差の影響を小さく抑えることができる。また、相対的な走査の方向のマーク計測は順次別々に行われるので非同時計測となるが、複数箇所計測する為、平均化効果があり、高精度計測が可能となる。

【0025】また、第2の投影露光方法によれば、マスク(12)側の複数の計測用マークに関する計測結果を平均化することにより、マスク(12)の計測用マークの描画誤差の影響を小さくして、投影光学系(8)の基準点とアライメント系(34)の基準点との間隔であるベースライン量を正確に計測できる。また、第3の投影露光方法によれば、基準マーク部材(6)上に、マスク(12)上の複数の計測用マーク(29A~29D)に対応させてその第1の基準マークを複数個(35A~35D)形成すると共に、これら複数の第1の基準マーク(35A~35D)からそれぞれ投影光学系(8)の露光フィールド内の基準点とオフ・アクシス方式のアライメント系(34)の基準点との間隔に対応する間隔でその第2の基準マークを複数個(37A~37D)形成しているため、基準マーク側でも平均化が行われるので、より正確にベースライン量が計測される。

【0026】次に、本発明の第4の投影露光方法によれば、高いスループットを要求される場合には、第2工程を選択して計測用マーク(29A)と基準マーク(35A)との位置ずれ量を1回だけ計測し、高精度が要求される場合には第1工程を実行することにより、迅速性に対する要求をも満たすことができる。この場合、第1工程において、更に予め計測用マーク(29A)の本来の位置からの位置ずれ量(これを「マーク誤差」と呼ぶ)を求めて記憶しておき、第2工程を実行した場合にはそのマーク誤差の補正を行うことにより、高いスループットと高精度との両方の要求に応えることができる。

【0027】同様に、第5の投影露光方法によれば、高いスループットを要求される場合には、第2工程を選択してアライメント系(34)で第2の基準マーク(37A)を観察した状態で、1つの計測用マーク(29A)と第1の基準マーク(35A)との位置ずれ量を1回だけ計測し、高精度が要求される場合には第1工程を実行することにより、迅速性に対する要求をも満たすことができる。この場合、第1工程において、更に予めマーク誤差を求めて記憶しておき、第2工程を実行した場合にはそのマーク誤差の補正を行うことにより、高いスループットと高精度との両方の要求に応えることができる。

【0028】また、第6の投影露光方法によれば、基板(5)を所定枚数交換する毎に、即ち所定枚数の基板(5)に露光する毎に、オフ・アクシス方式のアライメント系(34)で第2の基準マーク(37A)を観察した状態で、1つの計測用マーク(29A)と第1の基準マーク(35A)との位置ずれ量を1回だけ計測し、この計測結果よりマスク上の座標系とステージ上の座標系との対応関係と、ベースライン量とを求める。従って、高いスループットで計測が行われる。

【0029】

【実施例】以下、本発明による投影露光方法の第1実施例につき図面を参照して説明する。本実施例は、スリットスキャン露光方式の投影露光装置でレチクルのパターンをウエハ上に露光する場合に、本発明を適用したものである。図1は本実施例の投影露光装置を示し、この図1において、図示省略された照明光学系からの露光光E_Lによる矩形の照明領域(以下、「スリット状の照明領域」という)によりレチクル12上のパターンが照明され、そのパターンの像が投影光学系8を介してウエハ5上に投影露光される。この際に、露光光E_Lのスリット状の照明領域に対して、レチクル12が図1の紙面に対して前方向に一定速度Vで走査されるのに同期して、ウエハ5は図1の紙面に対して後方向に一定速度V/M(1/Mは投影光学系8の縮小倍率)で走査される。

【0030】レチクル12及びウエハ5の駆動系について説明するに、レチクル支持台9上にY軸方向(図1の紙面に垂直な方向)に駆動自在なレチクルY駆動ステージ10が載置され、このレチクルY駆動ステージ10上

にレチクル微小駆動ステージ11が載置され、レチクル微小駆動ステージ11上にレチクル12が真空チャック等により保持されている。レチクル微小駆動ステージ11は、投影光学系8の光軸に垂直な面内で図1の紙面に平行なX方向、Y方向及び回転方向(θ 方向)にそれぞれ微小量だけ且つ高精度にレチクル12の位置制御を行う。レチクル微小駆動ステージ11上には移動鏡21が配置され、レチクル支持台9上に配置された干渉計14によって、常時レチクル微小駆動ステージ11のX方向、Y方向及び θ 方向の位置がモニターされている。干渉計14により得られた位置情報S1が主制御系22Aに供給されている。

【0031】一方、ウエハ支持台1上には、Y軸方向に駆動自在なウエハY軸駆動ステージ2が載置され、その上にX軸方向に駆動自在なウエハX軸駆動ステージ3が載置され、その上にZ θ 軸駆動ステージ4が設けられ、このZ θ 軸駆動ステージ4上にウエハ5が真空吸着によって保持されている。Z θ 軸駆動ステージ4上にも移動鏡7が固定され、外部に配置された干渉計13により、Z θ 軸駆動ステージ4のX方向、Y方向及び θ 方向の位置がモニターされ、干渉計13により得られた位置情報も主制御系22Aに供給されている。主制御系22Aは、ウエハ駆動装置22B等を介してウエハY軸駆動ステージ2、ウエハX軸駆動ステージ3、Z θ 軸駆動ステージ4の位置決め動作を制御すると共に、装置全体の動作を制御する。

【0032】また、後述するが、ウエハ側の干渉計13によって計測される座標により規定されるウエハ座標系と、レチクル側の干渉計14によって計測される座標により規定されるレチクル座標系の対応をとるために、Z θ 軸駆動ステージ4上のウエハ5の近傍に基準マーク板6が固定されている。この基準マーク板6上には後述のように各種基準マークが形成されている。これらの基準マークの中にはZ θ 軸駆動ステージ4側に導かれた照明光により裏側から照明されている基準マーク、即ち発光性の基準マークがある。

【0033】本例のレチクル12の上方には、基準マーク板6上の基準マークとレチクル12上のマークとを同時に観察するためのレチクルアライメント顕微鏡19及び20が装備されている。この場合、レチクル12からの検出光をそれぞれレチクルアライメント顕微鏡19及び20に導くための偏向ミラー15及び16が移動自在に配置され、露光シーケンスが開始されると、主制御系22Aからの指令のもとで、ミラー駆動装置17及び18によりそれぞれ偏向ミラー15及び16は退避される。更に、投影光学系8のY方向の側面部に、ウエハ5上のアライメントマーク(ウエハマーク)を観察するためのオフ・アクシス方式のアライメント装置34が配置されている。

【0034】また、主制御系22Aには、オペレータか

らのコマンドを入力するためのキーボード22Cが接続されている。本実施例の投影露光装置には、高精度に計測を行うモードの他に、後述のように簡易的にベースライン量等の計測を行うためのクイックモードがあり、オペレータはキーボード22Cを介して主制御系22Aに、これから実行するモードが、高精度モードかクイックモードかを指示する。

【0035】次に、本例の投影露光装置において、ウエハ5及びレチクル12をロードしてからアライメントを終了するまでのシーケンスにつき図2のフローチャートを参照して説明する。先ず図2のステップ101において、レチクルローダー（後述）上に外形基準でレチクル12のアライメントを行う。図3は、図1のレチクル微小駆動ステージ11上にレチクル12を搬送する為のレチクルローダ系を示し、この図3のレチクルローダーは、2個のレチクルアーム23A及び23Bと、これらレチクルアーム23A、23Bに連結されたアーム回転軸25と、このアーム回転軸25を回転させる回転機構26とより構成されている。レチクルアーム23A及び23Bのレチクル載置面にはそれぞれ真空吸着用の溝24A及び24Bが形成されており、レチクルアーム23A及び23Bはアーム回転軸25を介してそれぞれ独立に回転できるように支持されている。

【0036】レチクル12のロード時には、位置A3で他のレチクル搬送機構（不図示）よりレチクル12がレチクルアーム23A上に受け渡される。この際に他方のレチクルアーム23Bは、例えば前工程で使用されたレチクルの搬出に使用されている。次に位置A3の近傍に設置されたレチクル外形アライメント機構（不図示）によって、レチクルアーム23A上でレチクル12が外形基準で一定の精度にアライメントされた後、レチクル12はレチクルアーム23A上に真空吸着される。次に、図2のステップ102において、回転機構26がアーム回転軸25を介してレチクルアーム23Aを回転させて、Y方向（図1のレチクル駆動ステージ10の待機位置（受け渡し位置））の位置B3までレチクル12を移動する。

【0037】このとき、真空吸着用の溝24Aは、レチクル微小駆動ステージ11上の吸着位置と直交した方向で、且つレチクル12のパターン領域外の位置にあるので、レチクル微小駆動ステージ11が走査方向であるy方向の最先端に移動した状態で、レチクルアーム23Aはレチクル微小駆動ステージ11上にレチクル12を自由に出し入れできるようになっている。レチクル微小駆動ステージ11（図1参照）上にレチクル12が達すると、アーム回転軸25は-Z方向に下がり、レチクル微小駆動ステージ11上の真空吸着面にレチクル12が載置され、レチクル12の受け渡し完了後にレチクルアーム23Aが退避する。その後、レチクル微小駆動ステージ11が位置C3の方向にレチクル12を搬送して行

く。この際に、レチクルアーム23Aと23Bとは独立に駆動され、例えばそれぞれがレチクルロードとレチクルアンロードとを同時に行うことで、レチクル交換速度が向上している。

【0038】次に図2のステップ103以下でレチクル12のアライメントを行うが、そのための機構及び動作につき説明する。図4(a)はレチクル12上のアライメントマーク（レチクルマーク）の配置を示し、図4(b)はレチクル上で投影光学系の有効露光フィールドと共役な領域33R内での、スリット状の照明領域明32等を示す。走査方向をy方向として、y方向に垂直な方向をx方向とする。図4(a)において、レチクル12上の中央部のパターン領域の周囲には遮光部31が形成され、この遮光部31の外側に形成されているレチクルマークは、ラフサーチ用アライメントマーク27及び28と、ファインアライメントマーク29A～29D及び30A～30Dとに分けられる。右辺側のラフサーチ用アライメントマーク27は、走査方向であるy方向に沿って長い直線状パターンと、この直線状パターンの両端部に形成された十字パターンとより形成され、左辺側のラフサーチ用アライメントマーク28は、右辺側のラフサーチ用アライメントマーク27と対称的に構成されている。

【0039】また、右辺側の遮光部31とラフサーチ用アライメントマーク27の一方の十字パターンとの間に、y方向に近接してファインアライメントマーク29A、29Bが形成され、右辺側の遮光部31とラフサーチ用アライメントマーク27の他方の十字パターンとの間に、y方向に近接してファインアライメントマーク29C、29Dが形成されている。これらファインアライメントマーク29A～29Dと対称的に左辺側にファインアライメントマーク30A～30Dが形成されており、これらファインアライメントマーク29A～29D及び30A～30Dは、図4(a)では単に十字状マークとして示してあるが実際にはそれぞれ図4(c)に示すように、3本の直線状パターンをx方向に所定間隔で2組配列すると共に、3本の直線状パターンをy方向に所定間隔で2組配列したものである。

【0040】先ず図2のステップ103において、図4(a)の左辺側のラフサーチ用アライメントマーク28を図1のレチクルアライメント顕微鏡（以下、「RA顕微鏡」という）20で検出する。図4(b)は、この場合のRA顕微鏡19及び20のレチクル12上での観察領域19R及び20Rを示し、ラフサーチを行う際には、それぞれ観察領域19R及び20Rよりも外側であり、且つ有効露光フィールドと共役な領域33Rよりも外側にある。これは、ラフサーチの為にラフサーチ用アライメントマーク27、28は大きくしておく必要があるが、それに合わせて投影光学系の露光フィールドを大き

くすると、投影レンズ径を大きくする必要がありコストアップになる為である。そこで本例でラフサーチを行う際の手順につき図5を参照して説明する。

【0041】図5(a)は、ラフサーチ用アライメントマーク28の一方の十字パターン近傍の拡大図、図5(b)は図5(a)を縮小した図であり、この図5(a)及び(b)において、RA顕微鏡20の正方形の有効視野 $20R_{ef}$ の幅をWとして、レチクル12の外形に対するパターンの描画誤差と設置誤差との和の設計値を ΔR とする。従って、図5(b)に示すように、幅 ΔR の正方形の領域内にラフサーチ用アライメントマーク28の一方の十字パターン28aが必ず含まれている。検出対象はその十字パターン28aのx座標及びy座標であるが、本例ではそのアライメントマーク28の2軸に対して 45° で交差する方向に、即ちx軸及びy軸に斜めにその幅Wの有効視野 $20R_{ef}$ を走査する。そして、その斜め走査の際にアライメントマーク28を横切ったときのx座標及びy座標として、その十字パターン28aのx座標及びy座標を求める。

【0042】そのためには、正の実数aの整数部を $INT(a)$ で表すものとして、その幅 ΔR の正方形の領域をその幅Wの有効視野 $20R_{ef}$ で走査する最低の回数であるサーチ画面数は、 $\{INT(\Delta R/W) + 1\}$ となる。このサーチ画面数は予め求めておく。そして、最初の有効視野B5を中心としたその幅 ΔR の正方形の領域に、斜めにそれぞれ幅Wの $\{INT(\Delta R/W) + 1\}$ 個の有効視野A5、B5、C5、...を設定し、図1のレチクル微小駆動ステージ11を駆動して、各有効視野をステップングして順次図5(a)の有効視野 $20R_{ef}$ 内に設定しながら、各有効視野内の画像をサンプリングする。

【0043】図5(b)に示すように、少なくとも幅 $\Delta R \times \Delta R$ のサーチ範囲中にサーチ対象のアライメントマーク28の十字パターン28aは存在し、サーチ範囲に対して十分にアライメントマーク28が大きい。従って、このアライメントマーク28に対して斜め方向に有効視野をステップ送りすれば、最小の画面数で、アライメントマーク28の十字パターン28aの座標を検出できることが分かる。そのときの画像処理は、撮像された画面内の全ラインの走査線を加算して得られる画像信号に対する一次元画像処理でよい。

【0044】図6は、そのように全ラインの走査線を加算して得られた種々の画像信号を示し、図6(a)及び(d)は図5(b)の有効視野A5で得られるx方向及びy方向に沿う画像信号、図6(b)及び(e)は図5(b)の有効視野B5で得られるx方向及びy方向に沿う画像信号、図6(c)及び(f)は図5(b)の有効視野C5で得られるx方向及びy方向に沿う画像信号である。図6(b)の画像信号から十字パターン28aのx座標が求められ、図6(f)の画像信号から十字パタ

ーン28aのy座標が求められる。

【0045】この様にしてサーチ用レチクルマーク28を検出した後に、今度は図2のステップ104において、RA顕微鏡19の観察領域にラフサーチ用アライメントマーク27を移動して、同様にそのアライメントマーク27の位置を検出する。但し、この場合、図1の基準マーク板6のパターンの無い部分を投影光学系8の露光フィールド内に移動して、そのパターンの無い部分を底部から照明しておく。このように基準マーク板6から射出される照明光により、それらラフサーチ用アライメントマーク27及び28を裏面側から照明する。

【0046】以上のシーケンスで、図4(b)のRA顕微鏡19及び20の観察領域19R及び20Rに対する、ラフサーチ用アライメントマーク27及び28の位置及びレチクル座標系の対応を大まかに付けることができる。また、RA顕微鏡の観察領域19R及び20Rとウエハ座標系との大まかな対応付けは、図1の基準マーク板6上の基準マークをRA顕微鏡19及び20で計測することにより行うことができる。これにより、ファインアライメントマーク29A~29D及び30A~30Dと、基準マーク板6上の基準マーク(後述)とが重ならない程度の、大まかなアライメント(ラフアライメント)が終了する。

【0047】但し、本例では、投影光学系8のレンズ径を小さくするために、レチクル12上のアライメントマークをラフサーチ用アライメントマークとファインアライメントマークとに分けているが、投影光学系8のレンズ径を大きくしても良い場合は、それらラフサーチ用アライメントマークとファインアライメントマークとを共通マークにすることができる。この場合でも、図5に示したように、斜め方向にステップ送りしてアライメントマークをサーチする手法は流用でき、RA顕微鏡19及び20でアライメントマークのサーチを同時に行うこともできる。

【0048】次に、ファインアライメントのシーケンスについて説明するが、その前にウエハステージ及びレチクルステージの詳細な構成につき説明する。図7(a)はウエハステージの平面図であり、この図7(a)において、Z θ 軸駆動ステージ4の上にウエハ5及び基準マーク板6が配置されている。また、Z θ 軸駆動ステージ4上には、X軸用移動鏡7X及びY軸用移動鏡7Yが固定され、ウエハ5上で図4(b)のスリット状の照明領域32に対応するスリット状の照明領域32Wが露光光で照明され、観察領域19W及び20Wがそれぞれ図4(b)の観察領域19R及び20Rと共役である。

【0049】移動鏡7Xには、X軸に平行で且つそれぞれ投影光学系の光軸及びアライメント装置34の基準点を通る光路に沿って間隔ILのレーザービームLWX及びLW_{ef}が照射され、移動鏡7Yには、Y軸に平行な光路に沿って間隔ILの2本のレーザービームLWY1及

びLWY2が照射されている。露光時には、Zθ軸駆動ステージ4のX座標として、レーザービームLWXを用いる干渉計で計測された座標値が使用され、Y座標としてレーザービームLWY1及びLWY2をそれぞれ用いる干渉計で計測された座標値 Y_1 及び Y_2 の平均値 $(Y_1 + Y_2) / 2$ が用いられる。また、例えば座標値 Y_1 と Y_2 との差分からZθ軸駆動ステージ4の回転方向(θ方向)の回転量が計測される。それらの座標に基づいて、Zθ軸駆動ステージ4のXY平面の位置及び回転角が制御される。

【0050】特に、走査方向であるY方向は2個の干渉計の計測結果の平均値を用いる事で、走査時の空気揺らぎ等による誤差を平均化効果により緩和している。また、オフ・アクシス方式のアライメント装置34を使用する場合のX軸方向の位置は、所謂アッペ誤差が生じない様に、レーザービームLW_{of}を使用する専用干渉計の計測値に基づいて制御される構成である。

【0051】図7(b)は、レチクルステージの平面図であり、この図7(b)において、レチクルY駆動ステージ10上にレチクル微小駆動ステージ11が載置され、その上にレチクル12が保持されている。また、レチクル微小駆動ステージ11にはx軸用の移動鏡21x及びy軸用の2個の移動鏡21y1、21y2が固定され、移動鏡21xにはx軸に平行にレーザービームLRxが照射され、移動鏡21y1、21y2にはそれぞれy軸に平行にレーザービームLRy1、LRy2が照射されている。

【0052】ウエハステージと同様に、レチクル微小駆動ステージ11のy方向の座標は、レーザービームLRy1及びLRy2を使用する2個の干渉計で計測された座標値 y_1 及び y_2 の平均値 $(y_1 + y_2) / 2$ が用いられる。また、x方向の座標は、レーザービームLRxを使用する干渉計で計測された座標値が使用される。また、例えば座標値 y_1 と y_2 との差分からレチクル微小駆動ステージ11の回転方向(θ方向)の回転量が計測される。

【0053】この場合、走査方向であるy方向の移動鏡21y1、21y2としてはコーナキューブ型の反射要素が使用されており、移動鏡21y1、21y2で反射されたレーザービームLRy1、LRy2はそれぞれ反射ミラー39、38で反射されて戻されている。即ち、そのレチクル用の干渉計はダブルパス干渉計であり、これによって、レチクル微小駆動ステージ11の回転によりレーザービームの位置ずれが生じない構成になっている。また、ウエハステージ上と同様に、レチクル12上にスリット状の照明領域32及びRA顕微鏡19、20の観察領域19R、20Rが配置されている。そして、観察領域19R及び20Rだけから、レチクル12と図7(a)のZθ軸駆動ステージ4を観察できる様になっている。この様にレチクル12とZθ軸駆動ステージ4

との関係を計測して露光時のアライメント精度及びレチクル12とウエハ5との回転精度を向上させる訳であるが、その方法につき図8及び図9を参照して説明する。

【0054】図8(a)は、図4(a)のレチクル12を図7(a)の基準マーク板6上に投影して得られるレチクル像12Wを示し、この図8(a)において、図4(a)のファインアライメントマーク29A~29Dに共役なマーク像29AW~29DWと、ファインアライメントマーク30A~30Dに共役なマーク像30AW~30DWとが示されている。各マーク像29AW~29DW及び30AW~30DWは、それぞれ図8(b)に示すように、3本の直線状のパターンを4辺に配置した形状である。

【0055】図8(c)は、基準マーク板6上の基準マークの配置を示し、この図8(c)の基準マーク板6上には、図8(a)のマーク像29AW~29DW及び30AW~30DWとほぼ同一の配置でそれぞれ基準マーク35A~35D及び36A~36Dが形成されている。これら基準マークは基準マーク板6の裏面から、露光光と同じ波長の照明光で照明されている。また、基準マーク板6上には、基準マーク35A及び36Aの midpoint から走査方向であるY方向に間隔ILだけ離れた位置に基準マーク37Aが形成されている。間隔ILは、図1における投影光学系8の基準点とオフ・アクシス方式のアライメント装置34の基準点との間隔であるベースライン量と等しい。同様に、基準マーク35B及び36Bの midpoint、基準マーク35C及び36Cの midpoint 及び基準マーク35D及び36Dの midpoint からそれぞれY方向に間隔ILだけ離れた位置に、基準マーク37B、37C及び37Dが形成されている。

【0056】基準マーク35A~35D、36A~36Dはそれぞれ図8(d)に示すように、7行×7列の直線状パターンから構成され、且つこれら基準マーク35A~35D、36A~36Dは図8(b)のマーク像29AW~30DWの内部に収まる大きさである。また、基準マーク37A~37Dは、図8(e)に示すように、X方向及びY方向に所定ピッチで形成された格子パターン内の対応する格子点を使用するものである。

【0057】この場合、先ず図2のステップ105において、ステップ103及び104の計測により得られた結果から、レチクル12とRA顕微鏡19及び20との相対的な位置関係及び相対的な回転角を算出し、図4(a)のファインアライメントマーク29A及び30AをそれぞれRA顕微鏡19及び20の観察領域19R及び20R内に移動させる。その後、ステップ106において、図8(c)の基準マーク板6上の基準マーク35A及び36Aをそれぞれその観察領域19R及び20Rと共役な観察領域19W及び20W(図9参照)に移動する。これにより、図9(a)に示すように、観察領域19W内でマーク像29AWと基準マーク35Aとが同

時に観察でき、観察領域20W内でマーク像30AWと基準マーク36Aとが同時に観察できる。その後、図2のステップ107において、RA顕微鏡19及び20で観察される画像を撮像信号に変換してサンプリングすると同時に、オフ・アクシス方式のアライメント装置34でも対応する基準マーク像の検出信号をサンプリングする。

【0058】図9(a)においては、基準マーク板6上にレチクル12の投影像であるレチクル像12Wが投影されている。また、図9(c)に示すように、観察領域19W及び20Wは、それぞれ投影光学系8の露光フィールド内の光軸を横切る位置に有り、オフ・アクシス方式のアライメント装置34の観察領域内に基準マーク37Aが収まっている。そして、スリットスキャン露光時と同様に、図7(a)のZθ軸駆動ステージ4が上側(Y方向)に移動するのと同期して、図7(b)のレチクル微小駆動ステージ11が下側(-y方向)に移動すると、第9(a)から図9(b)に示すように、基準マーク板6とレチクル像12Wとが一緒にY方向に動く。このとき、RA顕微鏡19、20の観察領域19W、20Wとオフ・アクシス方式のアライメント装置34とは固定されているので、観察領域19W、20W及びアライメント装置34の下を、符号Aが付されたマーク群(マーク像29AW、30AW、基準マーク35A、36A、37A)から符号Dが付されたマーク群(マーク像29DW、30DW、基準マーク35D、36D、37D)までが移動して行く。

【0059】先ず、アライメント開始後の図9(a)の第1の静止位置では、観察領域19Wの下にマーク像29AW及び基準マーク35Aがあり、観察領域20Wの下にはマーク像30AW及び基準マーク36Aがあり、オフ・アクシス方式のアライメント装置34の下には基準マーク37Aがあり、これら符号Aが付されたマークは同時にすべて観察される。第1の静止位置での計測が終了すると、ステッピング動作によって第2の静止位置までレチクル像12Wと基準マーク板6とを同期して移動させる。第1の静止位置で観察領域19W、20W及びアライメント装置34の下に存在したマーク群は符号Aが付されたマーク群であり、第2の静止位置で観察領域19W、20W及びアライメント装置34の下に存在するマーク群は符号Bが付されたマーク群(図8のマーク像29BP、基準マーク35B、37B等)である。

【0060】以上の様なシーケンスを第3の静止位置及び第4の静止位置(図9(b)の状態)と繰り返すことにより、レチクル像12Wのマーク像及び基準マーク板6上の基準マークは、符号Aが付されたマーク群、符号Bが付されたマーク群、符号Cが付されたマーク群、符号Dが付されたマーク群の順に、それぞれRA顕微鏡19、20及びオフ・アクシス方式のアライメント装置34によって計測されていくことになる。この動作が、図

2のステップ105~110の動作である。この様にし求められた計測結果を分かり易く表現するために、計測結果を図10に示す。

【0061】図10において、RA顕微鏡19で得られる測定結果を後述のように補正して求められる、基準マーク35Aからマーク像29AWまでのアライメント誤差のベクトルをALとして、同様に基準マーク35B~35Dからそれぞれマーク像29BW~29DWまでのアライメント誤差のベクトルをBL~DLとする。同様に、基準マーク36Aからマーク像30AWまでのアライメント誤差のベクトルをARとして、基準マーク36B~36Dからそれぞれマーク像30BW~30DWまでのアライメント誤差のベクトルをBR~DRとする。また、オフ・アクシス方式のアライメント装置34で得られる計測結果を後述のように補正して求められる、基準マーク37A~37Dからそのアライメント装置34の基準点までの誤差ベクトルをそれぞれAO~DOとする。

【0062】そして、誤差ベクトルAL, AR~DL, DRを得たときの、図1のレチクル側の干渉計14で計測されたx方向の座標値、即ち図7(b)のレーザービームLRxを用いて得られた座標値をそれぞれReAx~ReDx、誤差ベクトルAL, AR~DL, DRを得たときの、図1のレチクル側の干渉計14で計測されたy方向の座標値、即ち図7(b)のレーザービームLRy1, LRy2を用いて得られた座標値をそれぞれReAy1~ReDy1, ReAy2~ReDy2とする。また、誤差ベクトルAL, AR~DL, DRを得たときの、図1のウエハ側の干渉計13で計測されたX方向の座標値、即ち図7(a)のレーザービームLWXを用いて得られた座標値をそれぞれWaAX~WaDX、誤差ベクトルAL, AR~DL, DRを得たときの、図1のウエハ側の干渉計13で計測されたY方向の座標値、即ち図7(a)のレーザービームLWY1, LWY2を用いて得られた座標値をそれぞれWaAY1~WaDY1, WaAY2~WaDY2とする。

【0063】また、誤差ベクトルAO~DOを得たときの、オフ・アクシス方式のアライメント装置専用の干渉計で得られたX方向の座標値、即ち図7(a)のレーザービームLW_{OF}を用いて得られた座標値をそれぞれWaAOX~WaDOXとする。この場合、図7(a)に示すように、ウエハ側のレーザービームLWY1, LWY2のX方向の間隔はILであり、レチクル側のレーザービームLRy1, LRy2のウエハ側での間隔はRLである。

【0064】次に、図10の誤差ベクトルAL等の求め方につき説明するために、図1のRA顕微鏡19の構成を詳細に説明する。図11は、RA顕微鏡19及びこの照明系を示し、この図11において、Zθ軸駆動ステージ4の外部より光ファイバー44を介して露光光と同じ

波長の照明光ELがZ軸駆動ステージ4の内部に導かれている。光ファイバー44の代わりにレンズ系で露光光をリレーしても良い。そのように導かれた照明光が、レンズ45A、ビームスプリッター45B及びレンズ45Cを経て基準マーク板6上の基準マーク35A～35Dを照明し、ビームスプリッター45Bを透過した照明光が、レンズ45D、レンズ45E、ミラー45F及びレンズ45Gを経て基準マーク板6上の基準マーク36A～36Dを照明している。

【0065】例えば基準マーク35Aを透過した光は、投影光学系8を介して、レチクル12上のファインアライメントマーク29上にその基準マーク35Aの像を結像する。その基準マーク35Aの像及びアライメントマーク29からの光が、偏向ミラー15、レンズ40A、レンズ40Bを経てハーフミラー42に達し、ハーフミラー42で2分割された光がそれぞれ2次元CCDよりなるX軸用の撮像素子43X及びY軸用の撮像素子43Yの撮像面に入射する。これら撮像素子43X及び43Yの撮像面にはそれぞれ図12(a)に示すような、ファインアライメントマーク29A及び基準マーク35A像35ARの像が投影される。この場合、X軸用の撮像素子43Xの撮像画面43Xaは、ウエハステージ上のX方向に平行な領域で、且つ水平走査線方向もX方向であるが、Y軸用の撮像素子43Yの撮像画面43Yaは、ウエハステージ上のY方向に平行な領域で、且つ水平走査線方向もY方向である。

【0066】従って、撮像素子43Xの撮像信号S4Xの加算平均から基準マーク35Aとアライメントマーク29AとのX方向の位置ずれ量が求められ、撮像素子43Yの撮像信号S4Yの加算平均から基準マーク35Aとアライメントマーク29AとのY方向の位置ずれ量が求められる。これら撮像信号S4X及びS4Yが信号処理装置41に供給されている。

【0067】より詳細に、符号Aが付されたマーク群をアライメントしている場合を例にとって説明すると、RA顕微鏡19では例えば図12(a)に示されているアライメントマーク29Aと基準マーク像35ARとを同時に観察する。この図12(a)において、破線で囲まれた撮像画面43Xa及び43Ya内の画像信号S4X及びS4Yが、信号処理装置41内でアナログ/デジタル変換によりデジタル信号として検出される。それぞれの走査線上の画像データは、信号処理装置41内で、X軸及びY軸で独立に加算平均され、加算平均されたX軸用の画像信号S4X'及びY軸用の画像信号S4Y'はそれぞれ図12(b)及び(c)に示されるようになる。これら画像データはそれぞれ1次元画像処理信号として処理される。

【0068】この様にして得られた信号を信号処理装置41で演算処理すると、図10のレチクル12のマーク像29AWと基準マーク板6の基準マーク35AとのX

方向及びY方向の相対的な位置ずれ AL'_x 及び AL'_y が求められる。そして、図1のRA顕微鏡20により、マーク像30AWと基準マーク36AとのX方向及びY方向の相対的な位置ずれ AR'_x 及び AR'_y が求められる。同様に、図10のマーク像29BW～29DWと基準マーク35B～35Dとの相対的な位置ずれ、及びマーク像30BW～30DWと基準マーク36B～36Dとの相対的な位置ずれが求められる。

【0069】しかし、例えば図12(b)のアライメントマーク29Aに対応する画像信号と、基準マーク像35ARに対応する画像信号とは、それぞれレチクル側の干渉計とウエハ側の干渉計とによって位置を制御されている。従って、例えば符号Aが付されたマーク群(図10の29AW, 35A, 30AW, 36A)を計測している際のレチクル側の干渉計の計測座標 $ReAx$, $ReAy1$, $ReAy2$ と、ウエハ側の干渉計の計測座標 $WaAX$, $WaAY1$, $WaAY2$ とに対して、各ステージの追従誤差に起因する計測誤差(=実測値-設定値)である $\Delta ReAx$, $\Delta ReAy1$, $\Delta ReAy2$ と、 $\Delta WaAX$, $\Delta WaAY1$, $\Delta WaAY2$ とが生ずる。この計測誤差が先ほど演算により求められた相対的な位置ずれ AL'_x , AL'_y に含まれている。

【0070】そこで次式のように、計測により得られた相対的な位置ずれからそれらの誤差を差し引いた結果が、図10のアライメント誤差のベクトルALのX成分 AL_x 及びY成分 AL_y となる。但し、次式において $(1/M)$ は投影光学系8の縮小倍率であり、IL及びRLはそれぞれ図7で説明した間隔である。

【0071】

【数1】 $AL_x = AL'_x - \Delta ReAx / M - \Delta WaAX$

【0072】

【数2】 $AL_y = AL'_y - \Delta ReAy1 / M - \{ (\Delta WaAY1 + \Delta WaAY2) / 2 - (\Delta WaAY2 - \Delta WaAY1) \cdot RL / IL \}$

【0073】同様にして、図10のアライメント誤差のベクトルARのX成分 AR_x 及びY成分 AR_y も次式から求められる。

【0074】

【数3】 $AR_x = AR'_x - \Delta ReAx / M - \Delta WaAX$

【0075】

【数4】 $AR_y = AR'_y - \Delta ReAy2 / M - \{ (\Delta WaAY1 + \Delta WaAY2) / 2 - (\Delta WaAY2 - \Delta WaAY1) \cdot RL / IL \}$

【0076】次に、オフ・アクシス方式のアライメント装置34により得られる結果を補正して得られる図10の誤差ベクトルAO～DOについて説明するが、そのためにそのアライメント装置34の構成につき図13を参照して説明する。

【0077】図13は、そのアライメント装置34の構成を示し、この図13において、基準マーク板6上の基

準マークからの光は、偏向ミラー部46で偏向されてハーフプリズム47に入射し、ハーフプリズム47で反射された光が白色光を用いた画像処理方式のアライメント光学系（以下「FIA光学系」という）48に向かい、ハーフミラーを透過した光が、ヘテロダインビームにより格子マークからの回折光を検出するためのアライメント光学系（以下「LIA光学系」という）52に入射する。

【0078】先ず、FIA光学系48側から説明すると、照明光源49からの照明光はFIA光学系48を経た後、ハーフプリズム47及び偏向ミラー46によって偏向されて、基準マーク板6上の基準マークを照明する。その戻り光は同じ光路を辿ってFIA光学系48に戻り、FIA光学系48を通過した光がハーフプリズム50Aに入射し、ハーフプリズム50Aを透過した光束が2次元CCDよりなるX軸用の撮像素子51Xの撮像面上に基準マーク板6上の基準マーク像を結像し、ハーフプリズム50Aで反射された光束が2次元CCDよりなるY軸用の撮像素子51Yの撮像面上に基準マーク板6上の基準マーク像を結像する。

【0079】それぞれの撮像素子51X及び51Yの撮像面上には、図14(a)に示すような画像が結像される。基準マーク板6上の基準マークは格子状のパターンの格子点であり、図14(a)にはその格子状のパターンの像37Pが投影されている。その格子状のパターンの像37Pの基準マーク板6上での格子ピッチをP、暗線の幅をLとすると、幅Lは格子ピッチPよりかなり小さく設定されている。また、その撮像面には、基準マーク板6の照明光とは別の照明光で照明されたX方向用の参照マーク（指標マーク）像48X1、48X2及びY方向用の指標マーク像48Y1、48Y2が結像されている。それら指標マーク像の位置を基準として、基準マーク板6上の基準マークの位置を検出することができる。

【0080】具体的には、図14(a)の中でX方向と共役な方向の撮像領域51Xa及びY方向と共役な方向の撮像領域51Yaが、それぞれ図13の撮像素子51X及び51Yで撮像される。撮像素子51X及び51Yの水平走査線の方向はそれぞれX方向及びY方向と共役な方向であり、撮像素子51X及び51Yのそれぞれの撮像信号S5X及びS5Yが図13の信号処理装置56に供給される。信号処理装置56では、撮像信号S5X及びS5Yをそれぞれ加算平均して、図14(b)の画像信号S5X'及び図14(c)の画像信号S5Y'を得、これら画像信号から基準マーク板6上の対象とする基準マークの位置ずれを求める。さらに詳細な構成は、特願平4-16589号に開示されている。

【0081】検出対象とする基準マークが図10の基準マーク37Aの場合に、図14(a)の画像処理により得られる、基準マーク37Aの参照マークに対するX方

向及びY方向の相対的な位置ずれをそれぞれ AO'_{fx} 及び AO'_{fy} とする。このときの基準マーク板6の位置はウエハ座標系で管理されているので、その計測結果から図7(a)のZ軸駆動ステージ4の追従誤差及び回転誤差を引いた値が、図10の誤差ベクトルAOのX成分 AO_x 及びY成分 AO_y となる。但し、図13のFIA光学系48に対応するX成分 AO_x 及びY成分 AO_y をそれぞれ AO_{fx} 及び AO_{fy} とする。即ち、次式が得られる。

【0082】

【数5】 $AO_{fx} = AO'_{fx} - (WaAOX - WaAX)$

【0083】

【数6】

$AO_{fy} = AO'_{fy} - (WaAY1 + WaAY2) / 2$

【0084】一方、図13のLIA光学系52を含むアライメント系では、レーザ光源53からのレーザ光が、LIA光学系52、ハーフプリズム47を透過した後、偏向ミラー45で偏向されて基準マーク板6上の回折格子状の基準マークに入射する。その基準マークからの回折光は、同じ光路を辿ってLIA光学系52に戻り、LIA光学系52を通過した回折光は、ハーフプリズム50Bで2分割されてX方向用の受光素子55X及びY方向用の受光素子55Yに入射する。

【0085】この際に、LIA光学系52内でレーザ光源53からのレーザ光は2分割され、内部の周波数シフターによってそれら2つのレーザ光の周波数には Δf の周波数差が与えられている。それら2つのレーザ光の干渉光が受光素子54で受光され、その受光素子からは周波数 Δf の参照信号S6が出力される。また、それら2つの周波数の異なるレーザ光（ヘテロダインビーム）がある適当な入射角で基準マーク板6上の回折格子状の基準マークに照射され、その基準マークによるそれら2本のレーザ光の ± 1 次回折光が、平行に基準マーク板6に対して垂直に戻るようになっている。、その ± 1 次光の干渉光は周波数 Δf で光強度が変化するが、位相が基準マークのX座標及びY座標に応じて変化する。そして、受光素子55Xからは、基準マークのX座標に応じて位相が変化している周波数 Δf のビート信号S7Xが出力され、受光素子55Yからは、基準マークのY座標に応じて位相が変化している周波数 Δf のビート信号S7Yが出力され、参照信号S6及びビート信号S7X、S7Yは信号処理装置56に供給されている。

【0086】検出対象の基準マークを図10の基準マーク37Aとすると、図13の信号処理装置56は、図14(d)に示すように、参照信号S6とビート信号S7Xとの位相差 $\Delta\phi_x$ より、基準マーク37AのX方向の位置ずれ AO'_{Lx} を求め、図14(e)に示すように、参照信号S6とビート信号S7Xとの位相差 $\Delta\phi_y$ より、基準マーク37AのY方向の位置ずれ AO'_{Ly} を求める。この計測結果から図7(a)のZ軸駆動ステー

ジ4の追従誤差及び回転誤差を引いた値が、図10の誤差ベクトルAOのX成分AO_x及びY成分AO_yとなる。但し、図13のLIA光学系52に対応するX成分AO_x及びY成分AO_yをそれぞれAO_{Lx}及びAO_{Ly}とする。即ち、次式が得られる。

【0087】

【数7】 $AO_{Lx} = AO'_{Lx} - (WaAOX - WaAX)$

【0088】

【数8】

$AO_{Ly} = AO'_{Ly} - (WaAY1 + WaAY2) / 2$

【0089】以上の様にして、図10の符号Aが付されたマーク群の位置でアライメントを行うと、AL_x、AL_y、AR_x、AR_y、AO_{fx}、AO_{fy}、AO_{Lx}、AO_{Ly}の8個のデータが計測される。この様なシーケンスで符号Aが付されたマーク群～符号Dが付されたマーク群までの計測を行うことによって、32個(=8×4)のデータが求められる。これら32個のデータの中で、RA顕微鏡19及び20により得られたデータを実測データD_{xn}、D_{yn}として記憶し、オフ・アクシス方式のアライメント装置34により得られたデータを実測データA_{xn}、A_{yn}として記憶する。その後、動作は図2のステップ111に移行する。

【0090】図2のステップ111において、RA顕微鏡19、20に対応する実測データD_{xn}、D_{yn}に対して、実際にレチクル座標系とウエハ座標系とを線形誤差のみで変換できるようにした座標系での、x方向及びy方向の座標をF_{xn}及びF_{yn}とすると、これらの関係は以下の様になる。

【0091】

【数9】

$$\begin{bmatrix} F_{xn} \\ F_{yn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_x & -R_x \cdot (\omega + \theta) \\ R_y \cdot \theta & R_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_{xn} \\ D_{yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix}$$

【0092】また、x方向及びy方向の非線形誤差をε_{xn}及びε_{yn}とすると、次式が成立する。

【0093】

【数10】

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xn} \\ \varepsilon_{yn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{xn} \\ F_{yn} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} D_{xn} \\ D_{yn} \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} 1 - R_x & -R_x \cdot (\omega + \theta) \\ R_y \cdot \theta & 1 - R_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_{xn} \\ D_{yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix}$$

【0094】そして、これら非線形誤差(ε_{xn}、ε_{yn})が最小となる様に最小自乗近似を用いて、(数9)の6つのパラメータR_x、R_y、θ、ω、O_x、O_yの値を算出する。ここでx方向のスケーリングパラメータR_xはレチクル12と基準マーク板6とのx方向の倍率誤差を示し、スケーリングパラメータR_yはレチクル座標系とウエハ座標系との走査方向(y方向)のスケーリング

誤差を示す。また、角度パラメータθはレチクル12と基準マーク板6と回転誤差、角度パラメータωはレチクル座標系とウエハ座標系との走査方向の平行度、オフセットパラメータO_x及びO_yは両者のx方向及びy方向のオフセット値をそれぞれ示す。

【0095】次に、図2のステップ112及び113において、ベースライン量を求める。この場合、オフ・アクシス方式のアライメント装置34で計測されたデータA_{xn}及びA_{yn}の平均値をそれぞれ〈A_{xyxx}、〈A_{yy})となる。従って、アライメント時には、図7(a)のレーザービームLWXを用いる干渉計(以下、「露光用干渉計LWX」とも呼ぶ)からレーザービームLW_{OF}を用いる干渉計(以下、「オフ・アクシス専用干渉計LW_{OF}」とも呼ぶ)に制御を切り換え、図13のFIA光学系48を使用する場合には、計測されたデータA_{xn}及びA_{yn}の平均値をそれぞれ〈A_{fx}〉及び〈A_{fy}〉とする。そして、オフセット(〈A_{fx}〉-O_x、〈A_{fy}〉-O_y)のオフセットを図7(a)のレーザービームLWY1、LWY2、LW_{OF}に対応する干渉計の計測値に持たせてアライメント処理を行えばよい。一方、図13のLIA光学系52を使用する場合には、計測されたデータA_{xn}及びA_{yn}の平均値をそれぞれ〈AL_x〉及び〈AL_y〉とする。そして、干渉計の計測値に(〈AL_x〉-O_x、〈AL_y〉-O_y)のオフセットをもたせれば良い。

【0096】なお、以上の補正方式は、ステージ座標系の基準座標系を基準マーク板6上の基準マークに基づいて設定することを意味している。この場合には、言い換えると、例えば基準マーク板6上の基準マーク37A～37Dを通る軸が基準軸となり、この基準軸上で露光用干渉計LWXの読み値を0とした場合の、この基準軸上でのオフ・アクシス専用干渉計LW_{OF}の読み値(ヨーイング値)が求められる。そして、露光時には、露光用干渉計LWXの読み値と、オフ・アクシス専用干渉計LW_{OF}の実際の読み値にそのヨーイング値の補正を行った結果とを、それぞれ「受渡し用の干渉計値」として、この受渡し用の干渉計値に基づいてウエハ5の位置合わせを行うものである。

【0097】これに対して、例えば図7(a)において、ステージ座標系の基準軸をX軸用の移動鏡7Xとする方法を使用してもよい。この場合には、先ず図7(a)の状態、露光用干渉計LWXの読み値、及びオフ・アクシス専用干渉計LW_{OF}の読み値を同時にリセット(0に)し、以後の露光時には受渡し用の干渉計値を用いることなく計測値そのものを使用する。一方、アライメント時には、例えば基準マーク板6上の基準マーク37A～37Dを通る基準軸の移動鏡7Xに対する傾斜角θ_{xf}を求め、レーザービームLWXとLW_{OF}との間隔ILを用いて、オフ・アクシス専用干渉計LW_{OF}の読み値

に $IL \cdot \theta_{XF}$ の補正を行って得た値を用いる。これにより、通常の露光時には露光用干渉計 LWX の読み値、及びオフ・アクシス専用干渉計 LW_{OF} の読み値をそのまま使用できるようになる。

【0098】次に、計測データ D_{xn} 、 D_{yn} は、ウエハ座標系とレチクル座標系との相対誤差のみを表しているので、ウエハ座標系基準で最小自乗近似計算を行った場合は、求められたパラメータ R_x 、 R_y 、 θ 、 ω 、 O_x 、 O_y はすべてウエハ座標系を基準としたレチクル座標系の線形誤差で表される。そこで、レチクル座標系の x 座標及び y 座標をそれぞれ r_{xn} 、 r_{yn} とすると、ウエハ座標系の動きに応じて次式から求められた新座標 (r_{xn} 、 r_{yn}) に基づいてレチクルを駆動すれば良い。

【0099】

【数11】

$$\begin{bmatrix} r_{xn} \\ r_{yn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_x & -R_x \cdot (\omega + \theta) \\ R_y \cdot \theta & R_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{xn} \\ r_{yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix}$$

【0100】この処理では、既にオフセット O_x 、 O_y の補正がレチクル側でなされているので、ベースライン量としては ($\langle Ax \rangle$ 、 $\langle Ay \rangle$) のオフセットを補正するのみでよい。また、レチクル座標系を基準とした場合は、すべて逆の結果となり、ウエハ座標系で補正することも可能である。またこれらの補正はラフアライメント時はウエハ座標系で補正し、ファインアライメント時はレチクル座標系で行う等の様に分けて制御してもかまわない。

【0101】以上の様に本実施例によれば、1回のレチクルアライメント時に、複数のマークを利用してレチクルアライメント及びベースライン量のチェックを行うので、レチクルの描写誤差と、レチクル及びウエハの位置合わせ誤差とを平均化する事が可能となり、アライメン

ト精度が向上する。更に、これらの工程をすべて同時に行うのでスループットも向上する。更に、非走査方向 (X 方向) において複数の基準マークを同時に計測できる基準マーク板6を採用している為に、干渉計の光路の空気揺らぎによる誤差が生じない。

【0102】しかしながら、走査方向には基準マーク板6がステップ的に移動するので空気揺らぎによる影響が考えられる。その為ベースライン量のチェック時に、図13のLIA光学系52を用いた処理を行う際に、受光素子55X及び55Yの出力値を用いてウエハステージ (Z 軸駆動ステージ4等) の位置をロックして、レチクルアライメント及びベースライン量のチェックを行えば、空気揺らぎの影響は最小限に抑えられる。また、本例のレチクルマークはレチクル12の4隅部の計8箇所に配置されている。これはレチクル座標系とウエハ座標系との対応関係を調べる為に、オフセットのみでなく、パラメータ R_x 、 R_y 、 θ 、 ω が必要であり、4隅にマークを配置した方がパラメータ R_y 、 θ 、 ω の決定には有利である事による。更に、発光性の基準マーク板6を用いる場合は、発光部に制限があり、基準マーク板6上の全面を発光させることが難しい為である。

【0103】また、レチクル12上のレチクルマーク数を n とすると、オフセットパラメータ O_x 、 O_y は $1/n^{1/2}$ に平均化され、他のパラメータの誤差も小さくなる。従って、レチクルマーク数 n を増加する程誤差は小さくなる。以下に、レチクルマーク数 n とパラメータの誤差及びベースライン量の誤差との関係をシミュレーションした結果を示す。以下では (数11) の新座標系の4隅でのばらつきを、標準偏差 σ の3倍で且つ単位 [nm] で表す。

【0104】

【表1】

レチクル マーク数 n	R_x, R_y, θ, ω の誤差		ベースライン量 の誤差		
座標軸	X	Y	X	Y	悪い方の自乗和
4	9.59	10.96	8.8	7.2	16.00
8	7.10	7.92	6.2	5.1	9.43
12	5.86	6.48	5.1	4.2	7.77
16	5.03	5.80	4.4	3.6	6.83

【0105】以上よりレチクルマーク数 n を8個とすることにより、レチクル描画誤差を50nm、ステージのステッピング誤差を10nmとしても、レチクルアライメント及びベースライン量のチェックの精度を10nm以下にできることが分かる。即ち、発光性の基準マーク板6の制限以内で処理速度を早くして、レチクルマーク数 n を多くとっていけば、より精度を向上させる事も可

能となる。

【0106】この際に基準マーク板6上のパターンニング誤差及び投影光学系8のディストーション誤差が新座標系の中に誤差として残るが、これらは変動がほとんどないので、装置調整時に露光結果を参照データと比較して、得られた誤差をシステムオフセットとして取り除けば問題はない。なお、上述実施例では、図8(c)に示

すように、基準マーク板6上に基準マーク35A～35Dが複数個設けられ、基準マーク37A～37Dも複数個設けられている。しかしながら、例えば1個の基準マーク35A及び1個の基準マーク37Aのみを使用しても、レチクル12だけを走査して計測結果を平均化することにより、レチクル12上のパターンの描画誤差の影響を低減できる。

【0107】次に、本発明の第2実施例につき、図15及び図16のフローチャートを参照して説明する。これに関して、上述の第1実施例のレチクルアライメントモードはレチクル上の4組のファインアライメントマーク29A～29D、30A～30Dを使用して、ファインのレチクルアライメントを行うものであった。しかしながら、第1実施例の方法により1度ファインのレチクルアライメントが行われた後は、スキャン方向のスケール誤差、又はスキャン方向のレチクル座標系とウエハ座標系との平行度が小さい場合等には、1組のファインアライメントマークを使ってレチクルアライメントやベースライン計測を行うようにしてもよい。このように1組のファインアライメントマークを使って非スキャン方向の倍率(R_x)計測、ローテーション(θ)計測、及びベースライン計測の3項目に対する計測を実施するアライメントモードを「クイックモード」と呼ぶ。このクイックモードは、更にレチクル12上のファインアライメントマーク29A～30Dの描画誤差が小さいことが予め分かっている場合にも、適用することができる。

【0108】このクイックモードでは、例えば、レチクル12上の1組のファインアライメントマーク29A、30Aと、基準マーク板6上の1組の基準マーク35A、36Aと、基準マーク板6上の1つの基準マーク37Aとを使って、非スキャン方向の倍率(R_x)計測、ローテーション(θ)計測、及びベースライン計測の3項目に対する計測を実施する。但し、このクイックモードの場合、1組のファインアライメントマーク29A、30Aの描画誤差を補正するためには、ファインアライメントシーケンスで求めた、マーク29A、30Aの描画誤差を記憶しておく必要がある。

【0109】この第2実施例の動作を図15及び図16を参照して説明する。図15及び図16の動作は、図2の動作にクイックモードを加えた動作であり、ファインモードとクイックモードとが切り換え可能となっている。図15のステップにおいて、図2のステップに対応するステップには同一符号を付してその詳細説明を省略する。

【0110】図15において、ステップ101～104については図2の場合と同様に、レチクルホルダー上にレチクル12を載置し、ラフサーチ用アライメントマーク27及び28の位置をそれぞれRA顕微鏡19及び20にて検出する。次に、ステップ115でファインモードとクイックモードとのどちらか一方を選択する。この

選択結果は予め図1のキーボード22Cを介してオペレータから指示されている。但し、不図示のバーコード・リーダーによりレチクル12のパターン情報等を読み取り、この結果に基づいて主制御系22Aが自動的にアライメントモードを選択するようにしてもよい。

【0111】ファインモードが選択されると、図15のステップ105～113が実行され、前述の如く複数のファインアライメントマークと複数の基準マークとを使ったレチクルアライメント及びファインアライメントの計測結果を使ったベースライン計測が実行される。そして、ステップ114で、レチクル12上の新座標系上において、本来の位置に対する実際のファインアライメントマーク29A及び30Aの位置の描画誤差（以下、「マーク誤差」という）を求め、そのマーク誤差を主制御系22A内の記憶部に記憶する。マーク誤差を求める際には、ステップ113で求めた関係（変換パラメータ）より、ウエハ座標系を基準としてレチクル座標系を求め、このレチクル座標系上でファインアライメントマーク29A～29D、30A～30Dの設計上の座標値に対する計測された座標値の非線形誤差を求める。この非線形誤差がマーク誤差となる。このようにして、ファインアライメント時に、ステップ112、113の結果からレチクル上の新座標系上でのマーク誤差を記憶しておく。また、レチクル描画誤差を予め計測してある場合は、オペレータが描画誤差を直接入力してもよい。描画誤差に線形成分が含まれる時は特に効果が大きい。

【0112】一方、ステップ115でクイックモードが選択されると、動作は図16のステップ116に移行する。そしてステップ116～118において、図15のステップ105～107と同じ動作を実行する。即ち、クイックモードでレチクル12上の1対のファインアライメントマーク30A、29A、及び基準マーク板6上の1対の基準マーク36A、35Aの像をRA顕微鏡により観察し、オフ・アクシス方式のアライメント装置34によって1個の基準マーク37Aを検出する。また、ステップ119の後半で、RA顕微鏡で観察したマーク、及びオフ・アクシス方式のアライメント装置34で検出したマークの位置を求める。その後、ステップ119において、レチクル12上のファインアライメントマーク30A、29Aの検出された位置に対して、図15のステップ114で求めたマーク誤差の補正を行う。これにより、クイックモードで計測するマークの個数は少なくとも、レチクル12上のパターン描画誤差は第1実施例のファインアライメントモードの場合とほぼ同程度に補正できる。

【0113】次に、ステップ120において、ステップ119での補正により得られた各マークの位置に基づいて、(数9)の6個の変換パラメータ(R_x , R_y , θ , ω , O_x , O_y)の内の、非スキャン方向の倍率誤差 R_x 、ローテーション θ 、及びオフセット O_x , O_y

を求める。具体的には、図8(a)及び(c)に示すように、実測した基準マーク35A、36AのX方向(非スキャン方向)のマーク間隔と、マーク像29AW、30AWのX方向の間隔との差から非スキャン方向の倍率誤差 R_x を求める。更に、基準マーク35A、36AのY方向(スキャン方向)の位置ずれと、マーク像29AW、30AWのY方向の位置ずれとの差、及びマーク間隔からローテーション θ を求める。また、オフセット O_x 、 O_y は基準マークとレチクルのマーク像との平均的な位置ずれ量から求められる。

【0114】なお、このクイックモードでは、計測対象とするマークはレチクル側と基準マーク板6側とで2個ずつであるため、(数9)の6個の変換パラメータの内の4個の変換パラメータしか決めることができない。そこで、上述のように4個の変換パラメータの値を求めている。なお、例えば図4のY方向に並んだ2個のファインアライメントマーク29A、29D、及び図8(c)の2個の基準マーク35A、35Dを計測対象と選択することにより、走査方向の倍率誤差 R_y を求めることができる。

【0115】そして、ステップ120で求められた非スキャン方向の倍率誤差 R_x 、ローテーション θ 、及びオフセット O_x 、 O_y に基づいてレチクルアライメントが行われる。なお、倍率誤差の計測は、各マークの設計値に対する各マークの計測値のずれ分に対応する倍率誤差を予めテーブルとして用意しておき、各マークの設計値に対する各マークの計測値のずれ分をそのテーブルに当てはめて倍率誤差を求めるようにしてもよい。

【0116】次に、ステップ121において、基準マーク35A、36Aの中心座標の計測値と基準マーク37Aの計測値とを使ってベースライン計測を行う。このように、本実施例によれば、一度ファインアライメントモードを実行してレチクル12のパターンの描画誤差(マーク誤差)を求めておき、クイックモードでアライメントを実行する場合には、そのマーク誤差の補正を行っているため、高いスループットで且つ高精度にスリットスキャン方式の投影露光装置のアライメントを行うことができる。

【0117】次に、本発明の第3実施例につき図17のフローチャートを参照して説明する。この第3実施例は、ウエハを所定枚数交換する毎に、即ち所定枚数のウエハに露光を行う毎に、上述のクイックモードでレチクルアライメントとベースライン計測とを行うものである。本実施例において、図1の投影露光装置でレチクルを交換した後、例えば数100枚のウエハにレチクル12のパターンを順次露光する場合の動作の一例を図17を参照して説明する。

【0118】先ず、図17のステップ211において、前に使用したレチクルを図1のレチクル12に交換して露光動作が開始される。この際には図15のステップ1

01~104及び115、並びに図16のステップ116~121に示す、クイックモードのレチクルアライメント及びベースラインチェックの動作が実行される。その後、ステップ212で変数Nに初期値として、次にレチクルアライメント及びベースラインチェックを行うまでに露光するウエハの枚数を設定し、ステップ213でウエハをウエハステージ4上にロードする。但し、ステップ213で既に露光されたウエハがあるときにはその露光済みのウエハのアンロード(搬出)を行った後に新たなウエハのロードを行う。

【0119】次に、ステップ214で変数Nが0であるかどうか、即ちレチクルアライメント及びベースラインチェックを行うタイミングであるかどうか調べられ、変数Nが0より大きい場合にはステップ215で変数Nから1を減算してステップ216に移行する。このステップ216では、図13のオフ・アクシス方式のアライメント装置34又はTTL方式のウエハアライメント系を用いてウエハのアライメントを行った後、ウエハの各ショット領域にレチクル12のパターンが露光される。全部(指定枚数)のウエハへの露光が終了すると、そのレチクル12に関する露光工程は終了するが、全部のウエハへの露光が終わっていない場合には、ステップ213に戻って露光済みのウエハのアンロード及び新たなウエハのロードが行われる。その後動作はステップ214に移行する。

【0120】また、ステップ214で $N=0$ 、即ちレチクルアライメント及びベースラインチェックを行うタイミングである場合にはステップ217においてレチクル12の回転誤差及び倍率誤差の計測が行われる。これは図16のステップ120と同様である。その後、ステップ218に移行し、ここでオフ・アクシス方式のアライメント装置34(FIA光学系48を含むアライメント系又はLIA光学系52を含む2光束干渉アライメント方式のウエハアライメント系)のX方向及びY方向のベースラインチェックが行われる。その後、ステップ219で変数Nとして次にベースラインチェックを行うまでに露光するウエハの枚数を設定してから、動作はステップ216に戻る。

【0121】このように、本実施例によれば、レチクルを交換する毎に、レチクルアライメント及びベースライン計測を行うと共に、所定枚数のウエハに露光を行う毎にクイックモードでレチクルアライメント及びベースライン計測を行っているため、高いスループットで各ウエハとレチクルのパターン像との重ね合わせ精度を高めることができる。

【0122】また、上述実施例の手法はオフ・アクシス方式のアライメント時のベースライン計測について説明してあるが、投影光学系のフィールド内を用いたTTL(スルー・ザ・レンズ)方式においても本発明の適用により同様の効果が期待できる。このように、本発明は上

述実施例に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0123】

【発明の効果】本発明の第1の投影露光方法によれば、最終的に、例えばマスク上の複数の計測用マークの各位置で求められた位置ずれに合わせて、最小自乗近似等によって、マスク座標系と基板座標系とを対応付けるパラメータ（倍率、走査方向のスケール、回転、走査方向の平行度、X方向及びY方向のオフセット）を求めることにより、マスク上の計測用マークの描画誤差の影響を小さく抑えることができる。

【0124】また、第2の投影露光装置によれば、マスク側の複数の計測用マークに関する計測結果を平均化することにより、マスクの計測用マークの描画誤差を小さくして、投影光学系の基準点とアライメント系の基準点との間隔であるベースライン量を正確に計測できる。また、第3の投影露光装置によれば、基準マーク部材上に、マスク上の複数の計測用マークに対応させてその第1の基準マークを複数個形成すると共に、これら複数の第1の基準マークからそれぞれ投影光学系の露光フィールド内の基準点とオフ・アクシス方式のアライメント系の基準点との間隔に対応する間隔でその第2の基準マークを複数個形成しているため、基準マーク側でも平均化が行われるので、より正確にベースライン量が計測される。

【0125】また、本発明の第4の投影露光方法によれば、クイックモードによる簡易的な計測工程を選択することにより、必要に応じて高いスループットでマスク上の座標系とステージ上の座標系との対応関係を求めることができる。また、第5の投影露光方法によれば、クイックモードによる簡易的な計測工程を選択することにより、必要に応じて高いスループットでマスク上の座標系とステージ上の座標系との対応関係、及びベースライン量を求めることができる。

【0126】また、第6の投影露光方法によれば、所定枚数の基板に露光を行う毎に、クイックモードによる簡易的な計測工程を実行しているため、多くの基板に連続的にスキャン方式で露光を行う場合に、高いスループットでマスク上の座標系とステージ上の座標系との対応関係、及びベースライン量を求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による投影露光方法の実施例が適用される投影露光装置を示す構成図である。

【図2】第1実施例のアライメント方法及びベースライン量のチェック方法を示すフローチャートである。

【図3】レチクルローダー系を示す斜視図である。

【図4】(a)はレチクル上のアライメントマークの配置図、(b)は投影光学系の有効視野と共役な領域でのアライメントマーク等を示す配置図、(c)はファインアライメントマーク29A～30Dを示す拡大図であ

る。

【図5】(a)はレチクルの大まかなアライメントを行う場合の説明図、(b)は図5(a)を縮小した図である。

【図6】レチクルの大まかなアライメントを行うときに撮像素子から得られる種々の撮像信号を示す波形図である。

【図7】(a)はウエハ側のステージの平面図、(b)はレチクル側のステージの平面図である。

【図8】(a)はレチクル上のマーク配置を示す投影図、(b)はレチクル上のマークの一例を示す拡大投影図、(c)は基準マーク板6上の基準マークの配置を示す平面図、(d)は基準マーク3.5A等の一例を示す拡大図、(e)は基準マーク3.7A等の一例を示す平面図である。

【図9】レチクルアライメント及びベースライン量の計測時の基準マーク板、レチクル、投影光学系及びアライメント装置の関係を示す平面図である。

【図10】レチクルアライメント及びベースライン量の計測により得られる誤差ベクトルを示す図である。

【図11】レチクルアライメント顕微鏡19及び照明系の構成を示す一部を切り欠いた構成図である。

【図12】(a)は図11の撮像素子で観察される画像を示す図、(b)及び(c)はその画像に対応するX方向及びY方向の画像信号を示す波形図である。

【図13】オフ・アクシス方式のアライメント装置34を示す構成図である。

【図14】(a)は図13の撮像素子で観察される画像を示す図、(b)及び(c)はその画像に対応するX方向及びY方向の画像信号を示す波形図、(d)及び(e)は図13のLIA光学系を介して得られる検出信号を示す波形図である。

【図15】第2実施例のアライメント方法及びベースライン量のチェック方法の一部の動作を示すフローチャートである。

【図16】第2実施例のアライメント方法及びベースライン量のチェック方法の残りの動作を示すフローチャートである。

【図17】第3実施例の露光方法の動作を示すフローチャートである。

【図18】従来のステッパーのアライメント系を示す一部を切り欠いた構成図である。

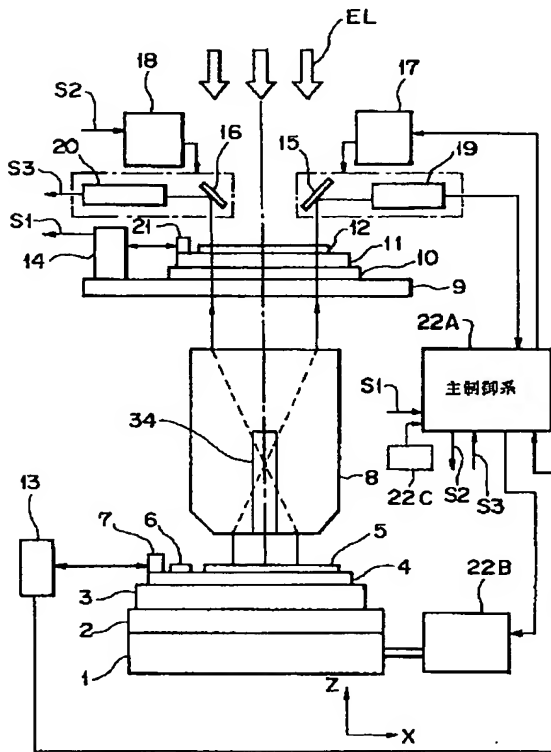
【符号の説明】

- 4 Zθ軸駆動ステージ
- 5 ウエハ
- 6 基準マーク板
- 7 ウエハ側の移動鏡
- 8 投影光学系
- 11 レチクル微小駆動ステージ
- 12 レチクル

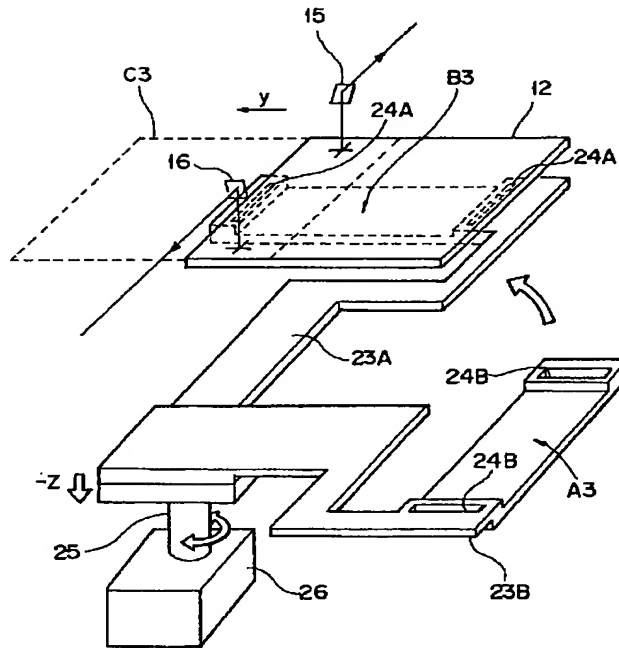
19, 20 レチクルアライメント顕微鏡 (RA顕微鏡)
 21 レチクル側の移動鏡
 27, 28 ラフサーチ用アライメントマーク
 29A~29D, 30A~30D ファインアライメン

トマーク
 34 オフ・アクシス方式のアライメント装置
 35A~35D, 36A~36D 基準マーク
 37A~37D 基準マーク

【図1】

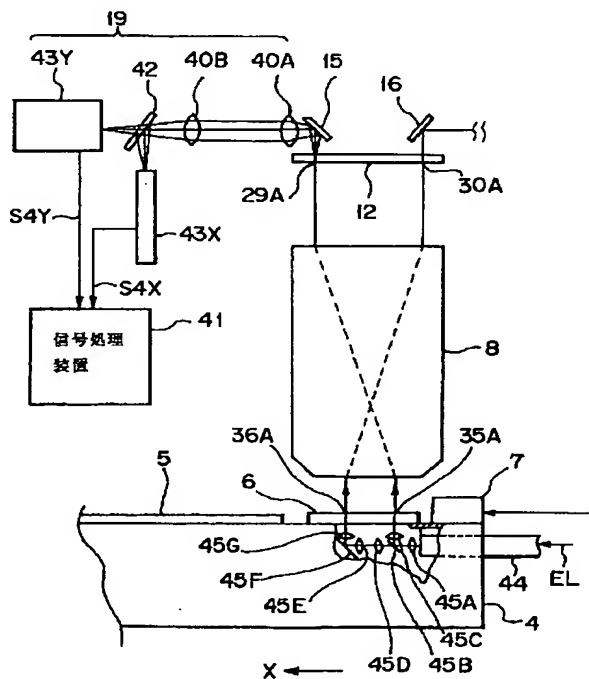
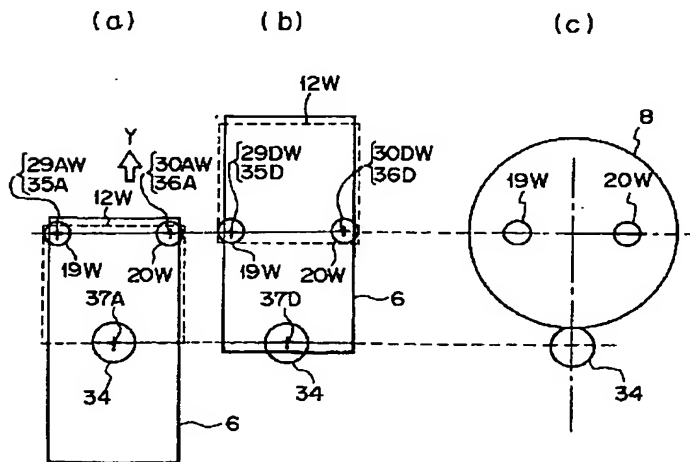


【図3】

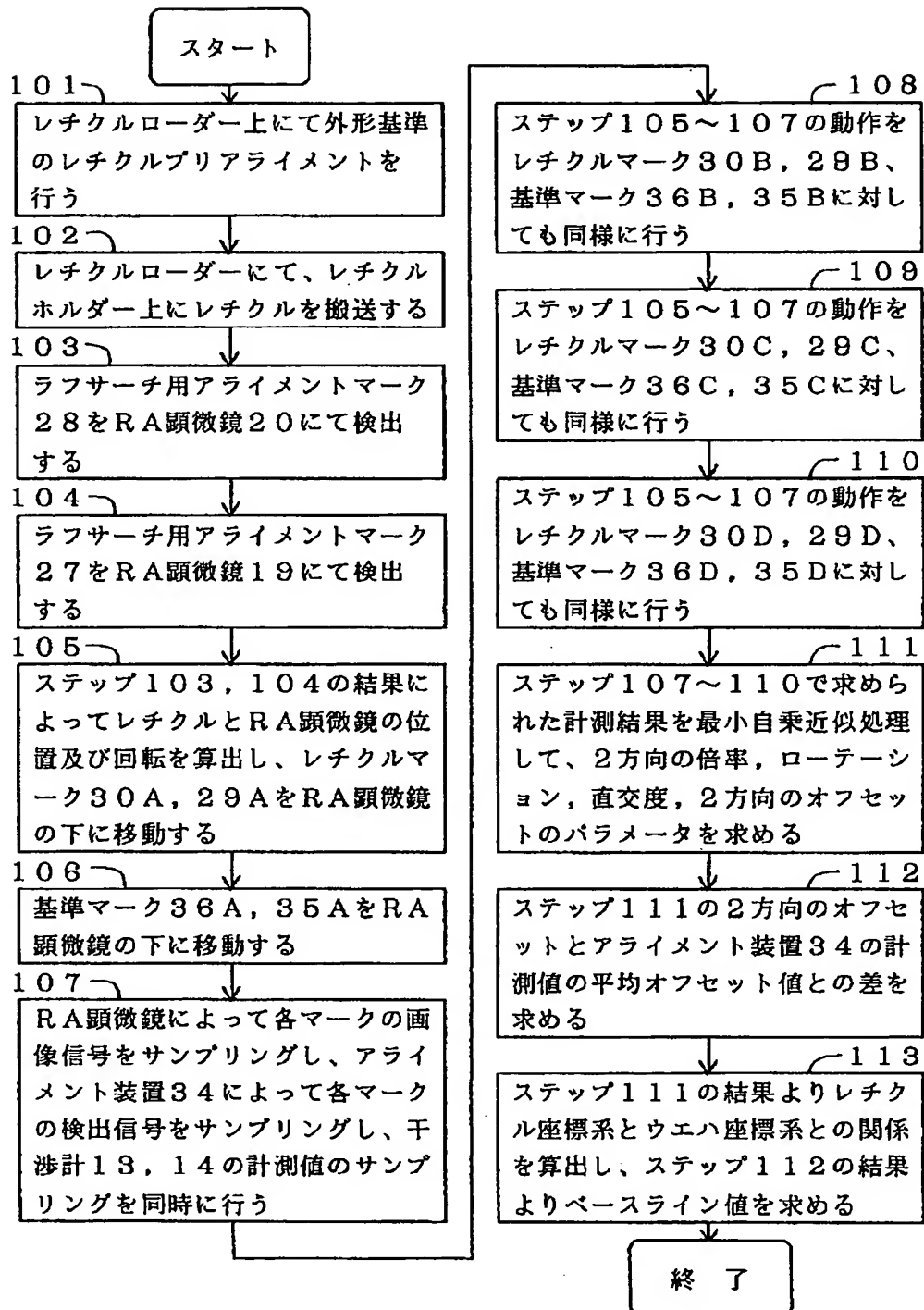


【図11】

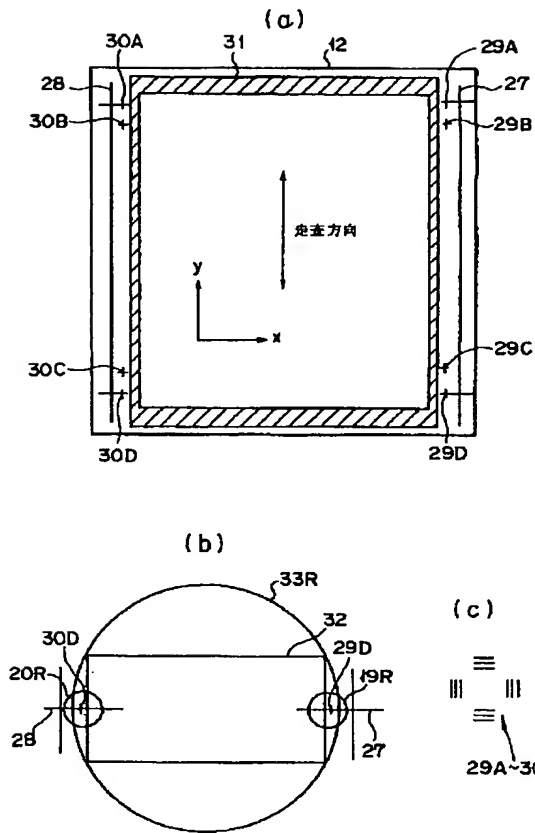
【図9】



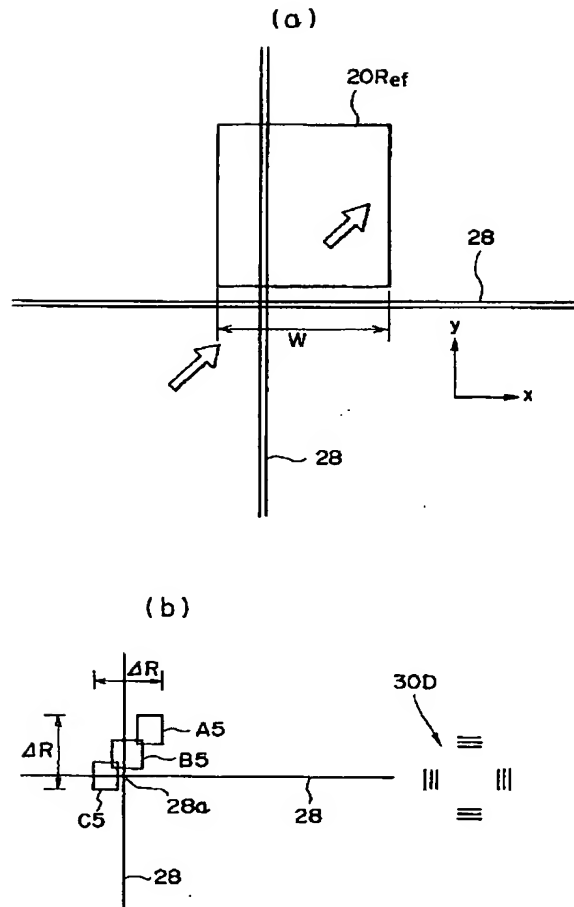
【図2】



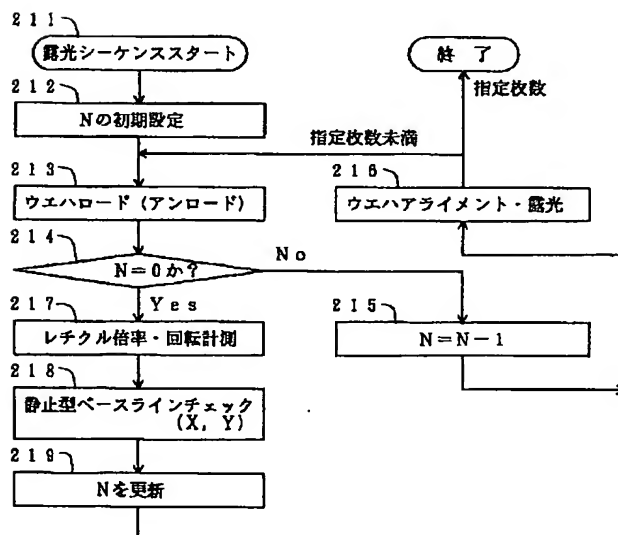
【図4】



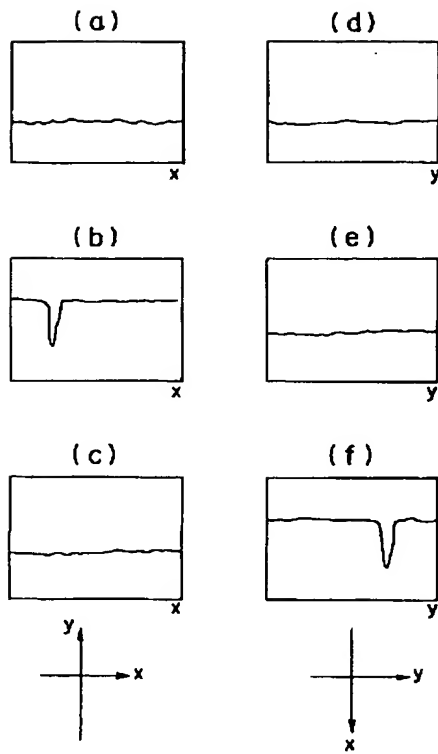
【図5】



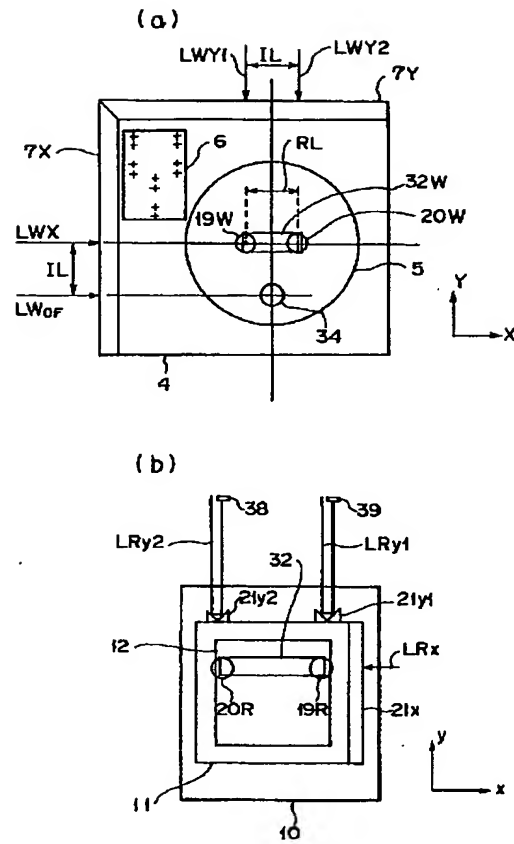
【図17】



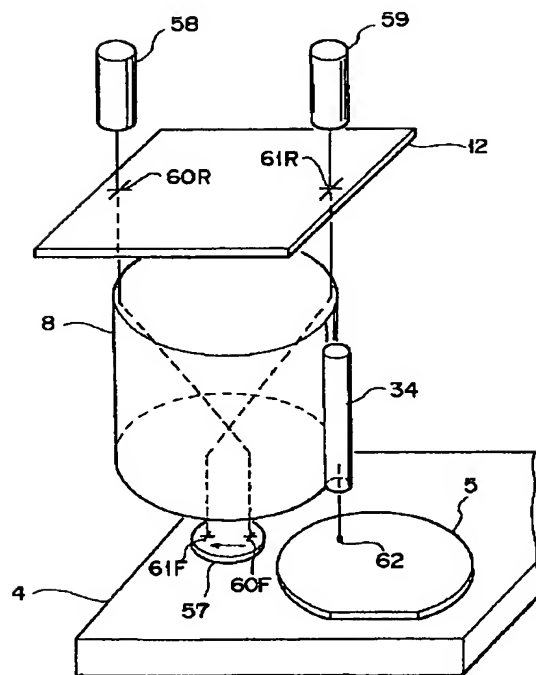
【図6】



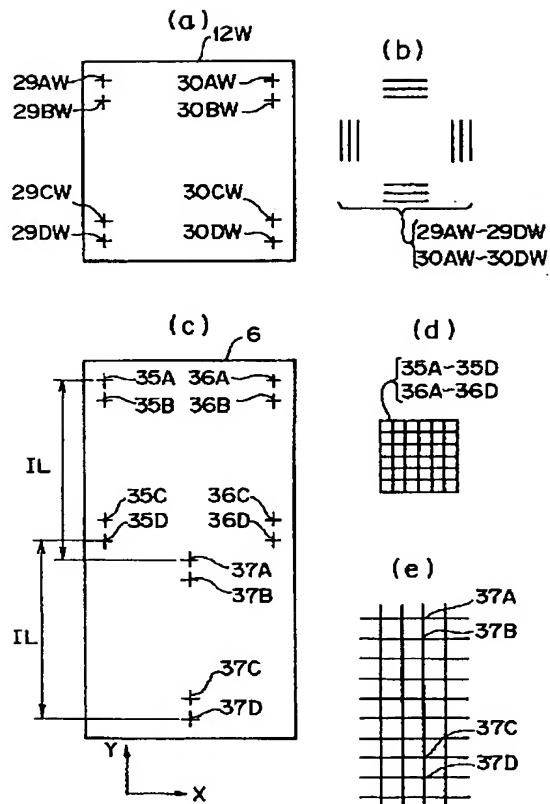
【図7】



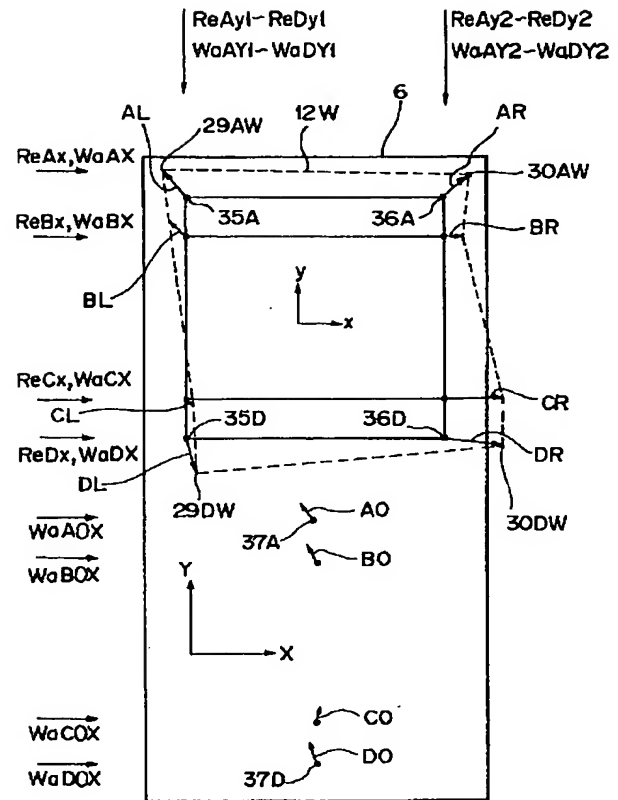
【図18】



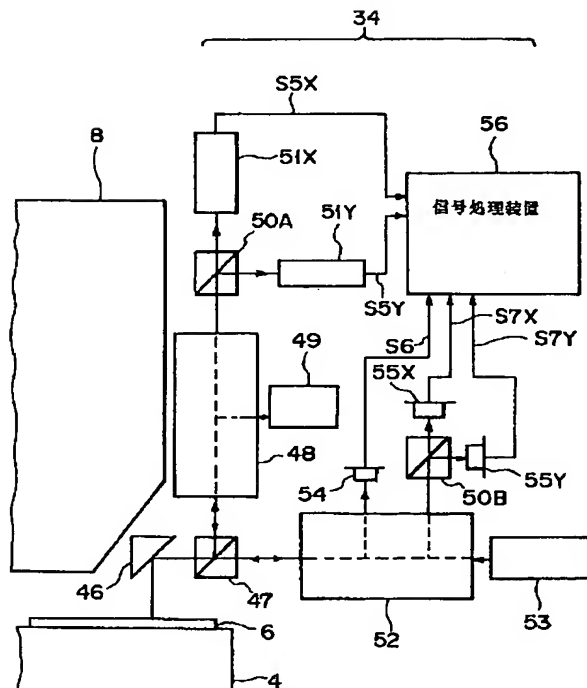
【図8】



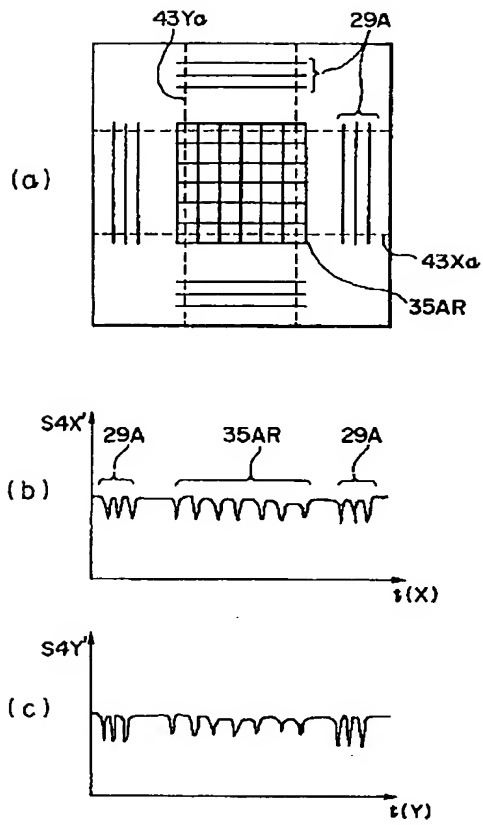
【図 10】



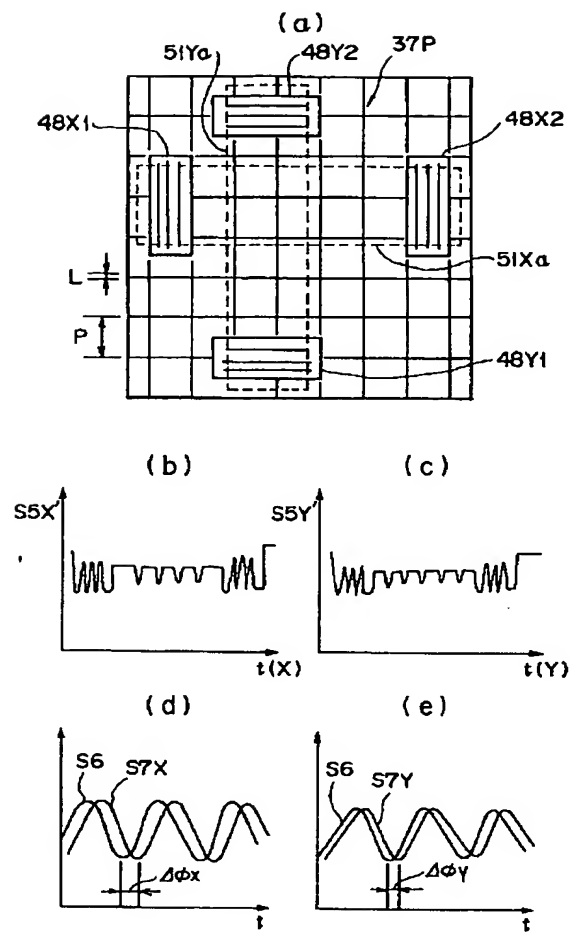
【図13】



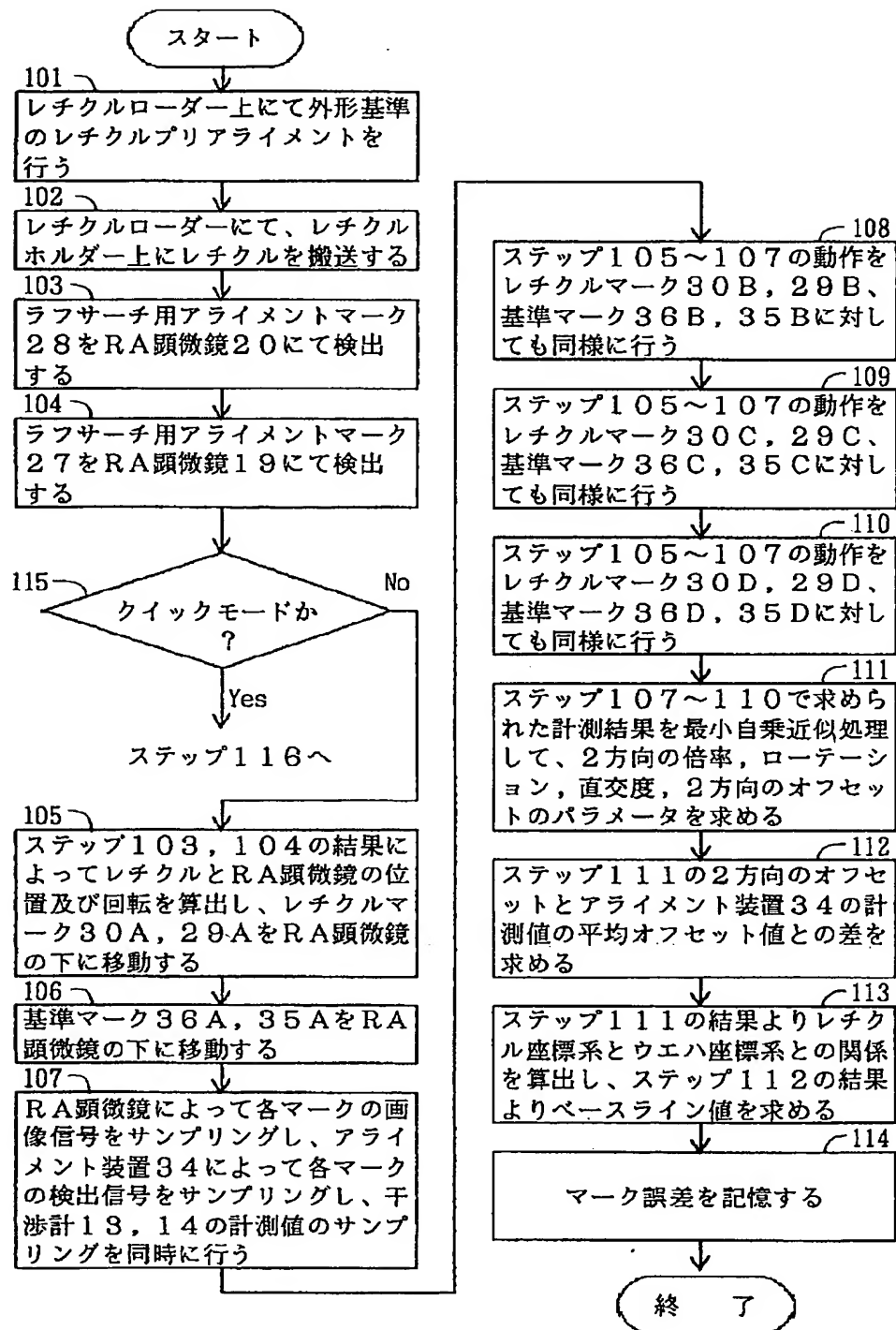
【図12】



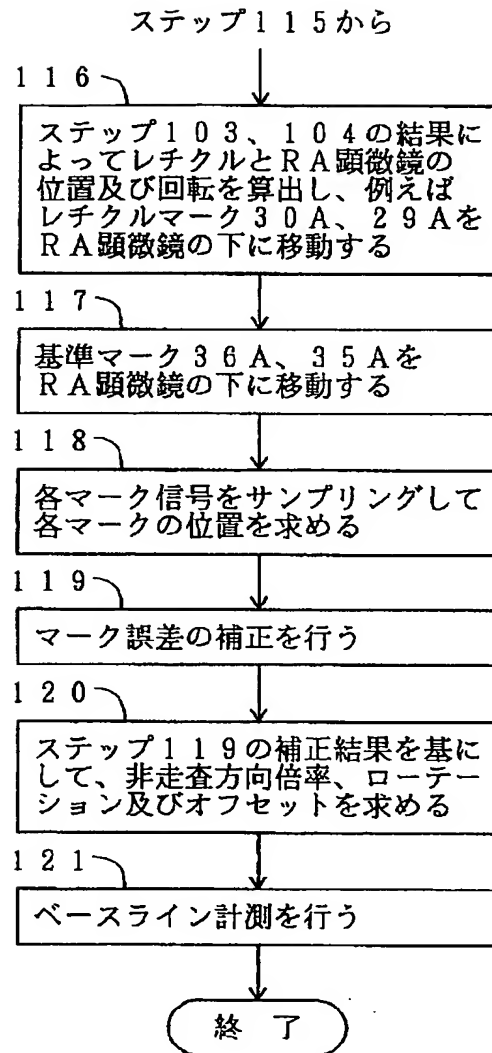
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁶
G03F 9/00識別記号 庁内整理番号
H

F I

技術表示箇所